



TUGAS AKHIR - TM141585

ANALISIS KEKUATAN CARBON FIBER TUBE A-ARM SAPUANGIN SPEED DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

**Haidir Ali Murtadlo
NRP 2112100096**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



TUGAS AKHIR - TM141585

**ANALISIS KEKUATAN CARBON FIBER TUBE A-ARM
SAPUANGIN SPEED DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

**HAIDIR ALI MURTADLO
NRP 2112100096**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



FINAL PROJECT - TM141585

**STRENGTH ANALYSIS OF CARBON FIBER TUBE A-ARM
SAPUANGIN SPEED WITH FINITE ELEMENT METHODE**

**HAIDIR ALI MURTADLO
NRP 2112100096**

**Student Supervisor
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2016**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEKUATAN CARBON FIBER TUBE A-ARM SAPUANGIN SPEED DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAIDIR ALI MURTADLO

NRP. 2112 100 096

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA
(NIP. 196508101991021001)(Pembimbing)
2. Indra Sidharta, ST, MSc.
(NIP. 198006192006041004)(Penguji I)
3. Alief Wikarta, ST,MSc.Eng, PhD.
(NIP. 198202102006041002)(Penguji II)

SURABAYA

Juli, 2016

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ANALISIS KEKUATAN CARBON FIBER TUBE A-ARM SAPUANGIN SPEED DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama : Haidir Ali Murtadlo
NRP : 2112100096
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. AGUS SIGIT PRAMONO, DEA.

Abstrak

Society of Automotive engineer mengadakan suatu ajang kompetisi yaitu berupa *formula student of automotive engineer*, yang menantang seluruh mahasiswa di penjuru dunia untuk mendesain, membuat dan memasarkan mobil formula. Dalam kompetisi tersebut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya menjadi partisipan dengan merancang mobil formula yang bernama Sapuangin Speed menggunakan mesin berkapasitas 450 cc. kompetisi tersebut terdiri dari beberapa event yang terdiri dari *acceleration, skid pad, autocross, efficiency*, dan *endurance* di mana mobil formula sapuangin speed akan diuji seberapa mobil ini bisa bertahan dan kemampuan bermanuver. Maka dari itu *Improvement* terus dilakukan oleh Tim Sapuangin dari segi kekuatan, *manueverability* dan *weight reduction*, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, dan bisa masuk jajaran 10 besar pada ajang kompetisi *Student Formula Japan*. *Weight reduction* yang bisa dilakukan salah satunya adalah dengan *redesign suspension system*. Untuk mencapai tujuan tersebut yaitu dengan mengganti material dengan komposit pada *A-arm* yang berupa *carbon fiber tube*.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa tentang kekuatan menggunakan metode *finite element* dengan bantuan komputer terhadap desain *A-arm carbon fiber tube* pada mobil formula Sapuangin Speed, sehingga didapat desain yang tepat untuk *A-arm* pada mobil Sapuangin Speed dan mampu melalui tes

statis maupun dinamis pada ajang kompetisi *Student Formula Japan*. Pada pemodelan menggunakan dua metode pengujian yaitu pemodelan statis dengan menggunakan gaya vertical dari massa kendaraan itu sendiri, metode yang kedua dengan menggunakan gaya dinamis dari beberapa tahapan kompetisi *student formula japan* yang berupa *skidpad*, *brake test*, dan *acceleration*.

Dari analisa tentang dinamika kendaraan didapatkan bahwa gaya normal terbesar pada roda depan dan belakang terjadi saat belok sebesar 782,812 N, 901,402 N. Lalu besarnya gaya sentrifugal akibat belok sebesar 2.8346 N, dan besarnya gaya dorong yang dihasilkan saat akselerasi sebesar 1.384,6 N, dan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk pengereman hingga mobil berhenti sebesar 1.594,65 N. Dan berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan arm depan atas tipe 1 dan tipe 2 aman menggunakan 11 layer carbon fiber, dan untuk arm depan bawah tipe 1 dan tipe 2 juga dinyatakan aman menggunakan 11 layer carbon fiber. Untuk arm belakang atas untuk tipe 1 dan 2 harus menggunakan 16 layer carbon fiber, sedangkan untuk arm belakang bawah tipe 1 dan 2 masih aman menggunakan 11 layer carbon fiber.

Keyword: carbon fiber, *a-arm*, *finite element*.

STRENGTH ANALYSIS OF CARBON FIBER TUBE A-ARM SAPUANGIN SPEED WITH FINITE ELEMENT METHODE

Student's name : Haidir Ali Murtadlo
Student's ID : 2112100096
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. AGUS SIGIT PRAMONO, DEA.

Abstract

Society of Automotive Engineer held a competition called Formula Student of Automotive Engineer, to challenge students around the world to design, and build a formula car. Sepuluh Nopember Institut of Technology Surabaya named as a participant to design a formula car named Sapuangan Speed using the engine with its capacity of 450 cc. the competition consisted by several event which are acceleration, skid pad, autocross, efficiency, and endurance. In the event, sapuangan speed formula car will be tested for its endurance and maneuverability. So improvement is needed by ITS Team Sapuangan in reliability, maneuverability dan weight reduction to get a better result and achieved a top tenth finish on Student Formula Japan. One of the methods of weight reduction in sapuangan speed are re-designing a lightweight suspension system. To achieved that, the material of suspension system are replaced by carbon fiber tube on its A-arm.

This paper contains analyze about the strength of an A-arm carbon fiber tube with finite element method for Sapuangan Speed, so the best design can be obtained for an A-arm of sapuangan speed that can pass all of static event and dynamic event of the competition. Simulation model will use two method of analysis which are, static analysis by force from the mass of the car, and dynamic analysis by force when the car is on maneuver in several event of student formula japan which are skidpad, brake test, and acceleration.

From the analysis about vehicle dynamic of Sapuanging Speed, it obtained that the greatest normal force on the right front and rear wheel in skidpad event respectively are 782,812 N, and 901,402 N. the greatest centrifugal force in skidpad event is 2.8346 N, the greatest thrust force in acceleration event is 1.384,6 N, and the force needed to bring the car into full stop in brake test is 1.594,65 N. Based on the simulation, it obtained that the front upper arm for the type 1 and type 2 are safe with 11 layers of carbon fiber, and for the front lower arm type 1 dan type 2 also safe with 11 layers of carbon fiber. For the rear upper arm type 1 and type 2 are safe with 16 layers of carbon fiber, while for the rear lower arm type 1 and type 2 also safe with 16 layers of carbon fiber.

Keyword: carbon fiber, *a-arm*, *finite element*.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISA KEKUATAN CARBON FIBER TUBE A-ARM SAPUANGIN SPEED DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”**. Dengan pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis bisa belajar lebih banyak untuk memperdalam dan meningkatkan apa yang telah didapatkan penulis selama menempuh perkuliahan di Teknik Mesin ITS. Dengan Tugas Akhir ini penulis juga dapat menghasilkan suatu implementasi dari apa yang telah penulis pelajari.

Selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan beberapa pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua penulis yakni Sahlul Basar dan Djamilah yang selalu mendoakan dan memebrikan dukungan dalam menjalani perkuliahan di ITS.
3. Kakak penulis, Chilwatul Azmi sekeluarag yang selalu memberikan saran-saran dan sebagai teman sharing. Adik penulis, Muhammad Nurul Ghina yang selalu memerikan semangat pada penulis.
4. Seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi, nasihat, dan do'a kepada penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA. selaku pembimbing yang telah membantu, membimbing, dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sabar.
6. Mas Rezha admin yang telah membantu dengan memberikan jadwal sidang spesial.

7. Mas Dani CAE yang selalu memberikan waktu lebih kepada penulis untuk menggunakan komputer laboratorium dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh karyawan yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Bapak Suwarno, ST.,MSc.,PhD. selaku kordinator tugas akhir yang telah memberikan kesempatan untuk sidang pada jadwal paling akhir.
10. Para anggota pasukan katak kontrakan gebang kidul terima kasih telah menemani penulis selama proses pengerjaan.
11. Para anggota ITS Team Sapuangin yang telah membantu dan menemani penulis selama di kampus dalam proses perkuliahan maupun proses penyelesaian tugas akhir ini.
12. Teman-teman angkatan 2012 yang telah membantu, berbagi ilmu, menjaga kebersamaan, dan memberi motivasi kepada penulis.
13. Serta semua pihak yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Sehingga dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan ke depannya.

Surabaya, Juni 2016

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak.....	vii
Abstract.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Tujuan.....	3
I.4. Batasan Masalah	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	4
I.6. Sistematika Laporan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. <i>Overview FSAE Japan</i>	5
a. Acceleration Event	5
b. Skidpad Event	6
c. Autocross event.....	8
d. Endurance Event	8
2.2. Tinjauan Pustaka.....	9
a. Carbon Fiber Analysis.....	9
b. Simulasi Fatigue Lower Rear Arm.....	11
c. Simulasi <i>Finite Element</i> Pada <i>Chassis</i> Mobil.....	12
2.3. Dinamika Kendaraan	16

2.3.1. Gaya Dorong (F_t).....	16
2.3.2. Gaya Sentrifugal (F_c), Momen Guling (M_g) dan Momen Pitching (M_p).....	17
2.3.3. Gaya Normal roda ketika berbelok	18
2.3.4. Gaya Impact Rolling	18
2.4. Teori Tegangan	19
2.6. Metode Elemen Hingga.	22
2.8. Composite (Carbon Fiber).....	25
2.9. Tsai Hill Theory	27
BAB III METODOLOGI	
3.1. Diagram Alur Penelitian	31
3.2. <i>Material Properties</i> yang Digunakan.	32
3.3. Perhitungan Beban	33
3.3.1. Skidpad	36
3.3.2. Akselerasi.....	39
3.3.3. Pengereman	39
3.5. Pemodelan	42
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Metode Analisa	49
4.2. Proses Simulasi dengan Bantuan Perangkat Lunak Komputer	49
a. Langkah Penyusunan layer pada A-arm carbon fiber tube.	50
b. Variasi susunan layer.....	50
c. Kriteria keamanan.....	57

d. Constrain Simulasi	57
4.2.1. Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Skidpad	58
a. A-arm depan atas.	58
b. A-arm depan bawah.	60
c. A-arm belakang atas.....	62
d. A-arm belakang bawah.....	64
4.2.2. Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Akselerasi.....	66
a. A-arm depan atas	66
b. A-arm depan bawah.	68
c. A-arm belakang atas.....	70
d. A-arm belakang bawah.....	76
4.2.3 Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Pengereman.....	80
a. A-arm depan atas	80
b. A-arm depan bawah.....	82
c. A-arm belakang atas.....	84
d. A-arm belakang bawah.....	86
4.3. Massa Dari A-Arm Carbon Fiber.....	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2. Saran.....	93

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Acceleration event Formula SAE Japan.....	6
Gambar 2.2 Layout lintasan skidpad event.....	7
Gambar 2.3 Contoh layout endurance Formula SAE.....	9
Gambar 2.4 Proses pengujian tekan.....	10
Gambar 2.5 Proses manufaktur pada carbon fiber tube.....	11
Gambar 2.6. hasil meshing model	12
Gambar 2.7 Deformasi Total (a) <i>steel</i> (b) komposit <i>carbon fiber</i> [3].....	14
Gambar 2.8 sistem suspensi dengan A arm.....	16
Gambar 2.9 gaya sentrifugal, momen guling dan momen pitching.	17
Gambar 2.10 impact rolling	19
Gambar 2.11 Tegangan normal tarik pada silinder.....	21
Gambar 2.12 Tegangan normal tekan pada silinder	21
Gambar 2.13 Tensor Tegangan.....	21
Gambar 2.14 elemen tetrahedron.....	22
Gambar 2.15 Node elemen tetrahedron.....	22
Gambar 2.16 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit[18]	27
Gambar 2.17 perbandingan antara metal alloy dan material berlapis	28
Gambar 2.18 cara mencari regangan normal dan regangan geser.	29
Gambar 3.1. flowchart alur penelitian.....	31

Gambar 3.2. Flowchart Perhitungan Beban.....	33
Gambar 3.3 Free Body Diagram Gaya Normal Roda Tampak Depan.....	36
Gambar 3.4 Tampak Depan Free Body Diagram Saat Berbelok	37
Gambar 3.5 Free Body Diagram Gaya Centrifugal Saat Berbelok	38
Gambar 3.7(a) Free Body Diagram Saat Pengereman Tampak Samping (b) Free Body Diagram Pengereman Tampak Atas.....	40
Gambar 3.10 (a) susunan upper arm dan lower arm belakang kanan, (b) susunan upper arm dan lower arm depan kanan.	44
Gambar 3.11 Penentuan Jenis Analisa	44
Gambar 3.12 Memasukkan <i>material properties</i> dari carbon fiber	46
Gambar 3.13 memasukkan <i>geometry</i> yang akan dianalisa	46
Gambar 3.14(a)(b) Menentukan Material Dari Geometry Yang Akan Dianalisa	46
Gambar 3.15 Dilakukan Proses <i>Meshing</i>	47
Gambar 3.16 memasukkan parameter-parameter untuk simulasi	47
Gambar 3.17 Meninjau Hasil Simulasi Pada ACP Post.....	48
Gambar 4.1 proses penyusunan arah carbon fiber per layer menggunakan add on ACP.....	50
Gambar 4.2 hasil simulasi percobaan 1	52
Gambar 4.3 Hasil simulasi percobaan I dengan penambahan layer menjadi 10 layer	52
Gambar 4.4 hasil simulasi percobaan ke 2	53

Gambar 4.5 hasil simulasi percobaan ke 2 susunan ke 2.....	54
Gambar 4.6 hasil simulasi percobaan ke 2 dengan susunan ke 3	54
Gambar 4.7 hasil simulasi percobaan ke 3 susunan 1	55
Gambar 4.8 hasil simulasi percobaan ke 3 susunan 2.....	56
Gambar 4.9 skema penyusunan layer carbon fiber pada tube.....	56
Gambar 4.10 Susunan A-arm carbon tube dengan silinder support dan elastic support.	57
Gambar 4.11a susunan tipe 1, 4.11b susunan tipe 2	59
Gambar 4.12a susunan tipe 1, gambar 4.12b susunan tipe 2	61
Gambar 4.13a susunan tipe 1, gambar 4.13b susunan tipe 2	63
Gambar 4.14a susunan tipe 1, gambar 4.14b susunan tipe 2	65
Gambar 4.15a susunan tipe 1, gambar 4.15b susunan tipe 2	67
Gambar 4.16a susunan tipe 1, gambar 4.16b susunan tipe 2	69
Gambar 4.17 hasil simulasi ditinjau melalui ACP POST dengan kriteria kegagalan Tsai hill.....	71
Gambar 4.(a)Tegangan yang terjadi pada geometry arm belakang saat akselerasi dengan 11 layer.(b) kegagalan yang terjadi dengan kriteria kegagalan maksimum stress.	72
Gambar 4.18 keterangan kegagalan berdasarkan tegangan maksimum.	74
Gambar 4.19a susunan tipe 1, gambar 4.19b susunan tipe 2	75
Gambar 4.20 hasil simulasi ditinjau melalui ACP POST dengan kriteria kegagalan Tsai hill.....	76
Gambar 4.21 (a)Tegangan yang dihasilkan saat simulasi (b) Kegagalan berdasarkan tegangan maksimum	77

Gambar 4.22 keterangan kegagalan berdasarkan tegangan maksimum	77
Gambar 4.23a susunan tipe 1, gambar 4.23b susunan tipe 2	79
Gambar 4.24a susunan tipe 1, gambar 4.24b susunan tipe 2	81
Gambar 4.25a susunan tipe 1, gambar 4.25b susunan tipe 2	83
Gambar 4.26a susunan tipe 1, gambar 4.26b susunan tipe 2	85
Gambar 4.27a susunan tipe 1, gambar 4.27b susunan tipe 2	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti material[3]	13
Tabel 2.2 Hasil analisa modal pada material komposit <i>carbon fiber</i> dan <i>steel</i> [3].....	14
Tabel 2.3 Hasil analisa <i>Static Structural</i> pada material komposit <i>carbon fiber</i> dan <i>steel</i>	15
Table 3.1. Deskripsi Diagram Alur Penelitian	32
Table 3.2. material properties dari carbon fiber yang digunakan	32
Table 3.3. Deskripsi Diagram Alur Perhitungan Beban.....	34
Table 3.4. <i>Unsprung Masses</i> Komponen.....	34
Table 3.5. deskripsi flowchart simulasi pengujian	41
Table 4.1 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.	58
Table 4.2 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.	60
Table 4.3 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.	62
Table 4.4 hasil simulasi pada a arm belakang bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.	64
Table 4.5 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	66
Table 4.6 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	68
Table 4.7 hasil simulasi pada a arm belakang atas dengan 11 layer, berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	70
Table 4.8 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	73

Table 4.9 hasil simulasi pada a arm belakang atas dengan 11 layer, berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	75
Table 4.10 hasil simulasi pada a arm belakang bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.	78
Table 4.11 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.....	80
Table 4.12 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.....	82
Table 4.13 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.....	84

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang dari topic carbon fiber tube ini di ambil. Serta rumusan masalah dari penelitian, dan kemudian tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Dan yang terakhir berisikan tentang sistematika penulisan dari penelitian ini.

I.I. Latar Belakang

Society of Automotive engineer mengadakan suatu ajang kompetisi yaitu berupa *formula student of automotive engineer*, yang menantang seluruh mahasiswa di penjuru dunia untuk mendesain, membuat dan memasarkan mobil formula. Dalam kompetisi tersebut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya menjadi partisipan dengan merancang mobil formula yang bernama Sapuangin Speed menggunakan mesin berkapasitas 450 cc. kompetisi tersebut terdiri dari beberapa event yang terdiri dari *acceleration*, *skid pad*, *autocross*, *efficiency*, dan *endurance* di mana mobil formula sapuangin speed akan diuji seberapa mobil ini bisa bertahan dan kemampuan bermanuver.

Tahapan pembuatan mobil formula sapuangin speed dimulai dari proses perancangan bagian-bagian utama kendaraan yaitu *drive train*, *engine*, *body*, *vehicle dynamic*, *control*, dan *chassis*. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kemampuan *manueverability* kendaraan terletak pada stabilitas kendaraan. Karenanya perancangan stabilitas kendaraan merupakan hal yang penting dalam pembuatan mobil formula sapuangin speed. Perancangan stabilitas kendaraan terdiri dari *steering system*, *suspension system* dan *wheel alignment*. Dari ketiga bagian tersebut *suspension system* mempunyai peran berupa *connector* antara *unsprung mass* dan *sprung mass* sehingga perlu diketahui kekuatan, umur lelah serta desain yang sesuai demi keamanan kendaraan.

Tahun 2016 adalah kelima kalinya INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA mengikuti ajang *Formula Student Japan*. Competitor yang mengikuti ajang serupa telah menggunakan material-material alternative sebagai komponennya untuk mengurangi berat dari kendaraan agar mendapatkan hasil yang lebih baik, diantaranya penggunaan carbon fiber sebagai *chassis* dan *suspension system*. Maka dari itu *Improvement* terus dilakukan oleh Tim Sapuanging dari segi kekuatan, *manueverability* dan *weight reduction*, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, dan bisa masuk jajaran 10 besar pada ajang kompetisi *Student Formula Japan*. *Weight reduction* yang bisa dilakukan salah satunya adalah dengan *redesign suspension system*. Untuk mencapai tujuan tersebut yaitu dengan mengganti material dengan composit pada *A-arm* yang berupa *carbon fiber tube* karena pada desain terdahulu dalam proses manufakturnya menggunakan material pipa gas baja.

Pada perlombaan Formula SAE sapuanging berambisi untuk meraih prestasi, dengan menjadikan tim Global Formula Racing sebagai acuan dalam pengembangan teknologi mobil Sapuanging Speed, karena tim GFR adalah tim dengan peringkat pertama dunia. Mobil formula dari tim GFR sudah menggunakan teknologi *composite* sebagai pengganti logam untuk *chassis* dan *arm*-nya sehingga berat mobil dari tim GFR sekarang sebesar 163kg. dan untuk massa *arm*-nya 2.7 kg, sedangkan *arm steel* milik sapuanging sebesar 4.5 kg.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa tentang kekuatan dan umur fatigue menggunakan metode *finite element* dengan bantuan komputer terhadap desain *A-arm carbon fiber tube* pada mobil formula Sapuanging Speed, sehingga didapat desain yang tepat untuk *A-arm* pada mobil Sapuanging Speed dan mampu melalui tes statis maupun dinamis pada ajang kompetisi *Student Formula Japan*. Untuk melakukan analisa mengenai desain dan kekuatan dari suatu struktur menggunakan metode *Finite Element*

Analysis (metode elemen hingga) yang menggunakan bantuan perangkat lunak komputer.

I.2. Rumusan Masalah

Pada mobil sapuangin speed menggunakan system suspense *double wishbone*, yang terdiri dari upper arm dan lower arm, Karena menggunakan sistem *pull rod* maka *arm* yang mendapat gaya paling besar pada *upper arm*. Beberapa event pada perlombaan SFJ 2016 yaitu scruting, skidpad, acceleration, autocross, dan endurance, beban terbesar terjadi ketika melakukan belok yang terjadi ketika event skidpad dan ketika pengereman yaitu saat uji brake pada scruting.

Dari beberapa event yang akan diikuti akan dilihat bagaimana dinamika kendaraan untuk mengetahui beban yang terjadi terhadap *A-arm*, lalu bagaimana merumuskan gaya-gaya yang bekerja pada *A-arm* saat kondisi *acceleration*, *brake test*, dan *skidpad*. Kemudian bagaimana pemodelan dari *A-arm* tersebut menggunakan bantuan perangkat lunak computer.

I.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Studi tentang mendapatkan besarnya beban uji berdasarkan dinamika kendaraan.
2. Membuktikan bahwa arm yang telah dirancang telah cukup aman dalam kekuatan.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah orthotropik.
2. Analisa kegagalan menggunakan analisa statis dengan kriteria kegagalan dari Tsai Hill.
3. Trek yang digunakan pada saat perlombaan SFJ rata tidak berlubang.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk mendesain kendaraan yang efisien demi kemajuan teknologi otomotif di Indonesia bahkan dunia.
2. Membantu mahasiswa dalam memahami konsep perancangan dan pengembangan kendaraan.
3. Rekomendasi desain selanjutnya dari *A-arm* mobil *formula* sapuangin speed yang berpartisipasi dalam ajang *Student Formula Japan*, dengan berat *A-arm* yang lebih ringan, sehingga bias memberikan capaian yang lebih baik.

I.6. Sistematika Laporan

Adapun sistematika laporan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan
Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan batasan masalah serta sistematika penulisan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka
Berisikan teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bab III Metodologi
Berisikan prosedur pelaksanaan pengujian dan pengambilan data serta prosedur analisa.
4. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan
Berisikan analisa hasil pembebanan yang terjadi, kemudian diamatai apakah terjadi kegagalan berdasarkan kriteria *tsai hill*.
5. Kesimpulan dan Saran
Berisikan kesimpulan dan saran pada tugas akhir.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan garis besar dari kompetisi fsae *japan* yang akan diikuti, kemudian beberapa referensi penelitian yang telah dilakukan., serta beberapa dasar teori yang mendukung dalam penyelesaian analisa dari *carbon fiber tube A-arm*.

2.1. Overview FSAE Japan

Student Formula Japan adalah sebuah kompetisi untuk mahasiswa yang diselenggarakan oleh *Society Automotive Engineering* (SAE) Internasional sejak tahun 2003 dan bertempat di ECOPA (Ogayasama Sport Park), Shizouka Perfecture, Japan. Konsep dari kompetisi ini adalah bagaimana mendesain mobil balap dengan model formula yang akan ditandingkan dalam beberapa event dinamis. ITS Team sapuangen telah mengikuti kompetisi ini sebanyak tiga kali pada tahun 2013, 2014, dan 2015. Oleh karena itu, pengembangan mobil terus dilakukan untuk mencapai target masuk ke dalam kelas A (enam besar mobil dengan perolehan point terbanyak).

Even dinamis merupakan pengujian terhadap kendaraan yang telah didesign dan dimanufaktur sebelumnya untuk mengetahui kestabilan dan kecepatan kendaraan. Kendaraan yang memiliki kestabilan dan kecepatan yang tinggi akan memperoleh point yang tinggi. Untuk menyelesaikan seluruh event yang ada menuntut *suspension system* dari mobil formula memiliki kekuatan yang cukup. Dynamic event ini meliputi :

a. Acceleration Event

Accelaration event dilakukan untuk mengetahui kemampuan akselerasi dari kendaraan pada trek lurus dengan panjang 75m. Pada event ini, mobil dituntut untuk berkaselerasi dari keadaan diam untuk mencapai jarak tersebut dengan waktu secepat mungkin.



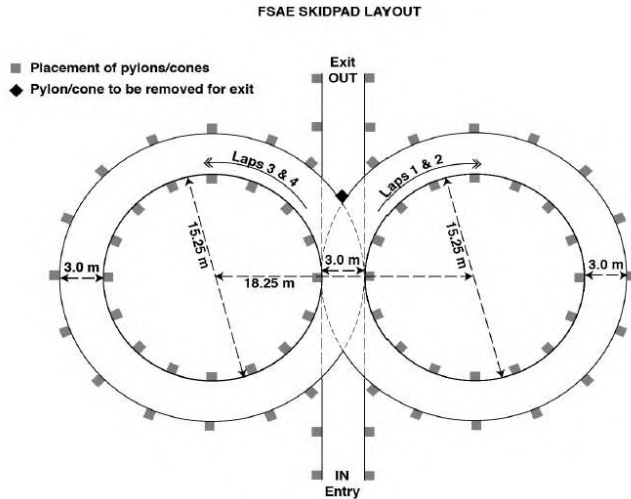
Gambar 2.1 Acceleration event Formula SAE Japan
(<https://www.rit.edu/news/story.php?id=47659>)

Ketentuan dalam *acceleration event* adalah sebagai berikut:

- Panjang lintasan 75m.
- Lebar jalan 4,9m.
- Cone diletakkan di tepi lintasan trek lurus dengan interval 20 feet.
- Jarak bagian depan mobil yang terdepan adalah 0,3m dari garis start.
- Dilakukan dua kali pengetesan secara langsung.
- Point dihitung berdasarkan waktu tercepat.

b. Skidpad Event

Event ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kendaraan berbelok pada radius yang konstan dengan lintasan berbentuk angka delapan. Waktu terbaik diambil dari satu putaran kanan dan kiri.



Gambar 2.2 Layout lintasan skidpad event
(fsae rule 2016)

Ketentuan *skidpad event* adalah sebagai berikut:

- Layout *skidpad* berdasarkan aturan *Formula SAE Internasional*.
- Garis diantara pusat lingkaran adalah garis start dan stop penghitungan waktu.
- Satu lap didefinisikan sebagai perjalanan mengelilingi satu lingkaran dari garis start/finish dan kembali ke garis start/finish.
- Lebar jalan adalah 3m.
- Terdapat 16 cone yang terletak di sisi dalam lingkaran dalam dan 13 cone yang terletak di bagian sisi lingkaran luar.
- Dilakukan dua kali pengujian secara berurutan.
- Kendaraan masuk lurus ke dalam lintasan ini dengan mengambil putaran pada lingkaran kanan sebanyak dua kali. Setelah itu langsung dilanjutkan dengan memutar lingkaran kiri sebanyak dua kali.

- Akan diambil waktu terbaik dari kedua putaran kanan dan kiri yang kemudian akan dirata-rata.
- Point yang didapatkan berdasarkan peringkat urutan waktu terbaik.

c. Autocross event

Event ini menguji bagaimana manueverability dari kendaraan dan kemampuan dari driver dalam menyelesaikan rute lintasan yang telah ditetapkan. Autocross event mengkombinasikan kemampuan dalam berbelok, bermanuver pada lintasan zig zag, akselerasi, dan kemampuan pengereman. Autocross dilakukan satu kali putaran penuh yang memiliki panjang lintasan 950m dengan waktu tercepat yang nantinya akan digunakan untuk menentukan urutan untuk event endurance.

Ketentuan *Autocross event* adalah sebagai berikut:

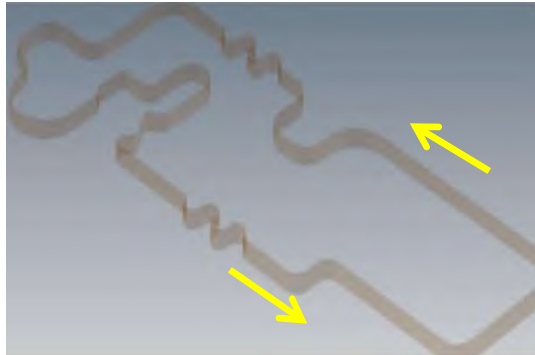
- Layout lintasan sama dengan layout lintasan endurance.
- Terdiri dari lintasan lurus dengan panjang tidak lebih dari 60m dengan belokan putar balik dengan panjang tidak lebih dari 45m, belokan konstan dengan diameter 23-45 m, belokan putar balik dengan diameter luar minimum 9m, slalom dengan jarak cone 7.62-12.19 m, dan miscellaneous dengan lebar trek minimal 3.5m.
- Dilakukan dua kali pengujian yang dilakukan secara beruntun.
- Waktu yang diambil adalah waktu tercepat dari dua kali kesempatan.

d. Endurance Event

Endurance event merupakan dynamic event terakhir dalam serangkaian event dalam Formula SAE ini dan memiliki point tertinggi yaitu 300. Endurance event merupakan gabungan dari lintasan skidpad, akselerasi, dan autocross. Dalam event ini kendaraan akan diuji ketahanan untuk melewati lintasan sebanyak 20 lap. Waktu yang diambil adalah pada satu lap dengan waktu tercepat.

Ketentuan dalam Endurance event adalah sebagai berikut:

- Layout endurance terdiri dari lintasan lurus dengan panjang 77m dengan putaran balik yang terletak di ujung dengan lebar belokan 61m, belokan konstan dengan diameter 30-54 m, belokan putar balik dengan diameter luar minimal 9m, slalom dengan jarak cone 9-15 m, miscellaneous dengan lebar trek 4,5m.
- Endurance dilakukan sebanyak 20 lap dengan dibagi menjadi dua sesi, masing masing 10 lap. Pergantian driver dilakukan dengan jeda tidak lebih dari 3 menit.
- Point dihitung berdasarkan peringkat urutan capaian waktu lap terbaik



Gambar 2.3 Contoh layout endurance Formula SAE

2.2. Tinjauan Pustaka

a. Carbon Fiber Analysis

Alban C. Cobi seorang alumni MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY yang juga pernah mengikuti FSAE telah melakukan pengujian pada material carbon fiber dengan beberapa variable yaitu perbandingan proses manufaktur terhadap kekuatan yang dari carbon fiber. Selain itu variable yang digunakan yaitu perlakuan aluminium pada sambungan sebagai holder ketika di uji.



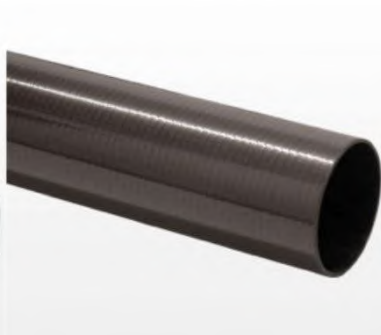
Gambar 2.4 Proses pengujian tekan
(Design of a Carbon Fiber Suspension System for FSAE
Applications, Alban C. Cobi, 2012)

Dalam proses manufaktur carbon fiber a arm, ada dua metode yaitu dengan metode pulltrude dan metode roll wrap. Pada metode pulltrude terjadi *delamination*. *Delamination* adalah kondisi dimana ikatan antar core pada fiber rusak. Dan tersusun searah sumbu, seperti yang bias dilihat pada gambar berikut:

Pultruded



Roll-wrapped



Gambar 2.5 Proses manufaktur pada carbon fiber tube.
(Design of a Carbon Fiber Suspension System for FSAE
Applications, Alban C. Cobi, 2012)

Diketahui bahwa hasil pengujian menunjukkan bahwa dari kedua proses manufaktur, proses manufaktur roll wrap memiliki kekuatan yang lebih karena ikatan antara core nya tidak rusak.

Dari hasil penelitian di atas disebutkan bahwa pada proses manufaktur yang paling baik adalah metode roll-wrapped yang menghasilkan nilai tegangan Tarik lebih besar dibandingkan proses pulltrude. Sehingga metode roll-wrapped yang akan digunakan dalam proses manufaktur *carbon fiber a-arm tube*.

b. Simulasi Fatigue Lower Rear Arm

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa terhadap lower rear arm dari mobil berpenumpang yaitu Toyota avanza oleh salah satu mahasiswa strata 1 lintas jalur teknik mesin ITS metode yang dilakukan dalam melakukan analisa yaitudengan menggunakan metode finite element dengan bantuan software komputer. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan metode pengujian yang dilakukan oleh astra yaitu dengan menggunakan F uji sebesar $\pm 9.1 \text{ KN}$.



Gambar 2.6. hasil meshing model
(Simulasi Pengujian *Fatigue Lower Rear Arm*, dengan Menggunakan Software ANSYS 8.0, Henky Irawan, 2006)

Dari penelitian tersebut akan dijadikan referensi mengenai metode permodelan yang digunakan, yaitu metode *finite element analysis*. Mulai dari langkah permodelan hingga analisa *fatigue cycle*.

c. Simulasi *Finite Element* Pada *Chassis* Mobil

Pada tahun 2014 Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep dan Baskar P melakukan penelitian dengan judul “*Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials*”[3]. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan *chassis* truk pemadam kebakaran berbahan *steel* dengan komposit *carbon fiber*.

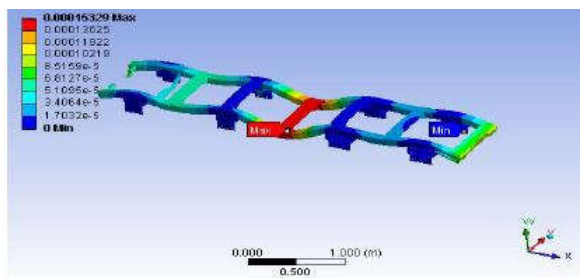
Simulasi yang dilakukan dengan menganalisa struktur statis dan modal dari *chassis* truk pemadam kebakaran yang di mana material yang digunakan adalah komposit *carbon fiber* dan *steel* sebagai material pembanding yang digunakan sebagai material dari *chassis*. *Chassis* truk pemadam kebakaran yang

digunakan adalah jenis *ladder chassis*. Data properti material dapat dilihat pada tabel 2.1.

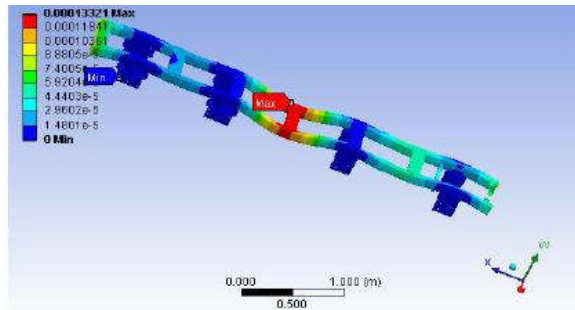
Tabel 2.1 Properti material[3]

Material Properties	Steel	Carbon Fiber
Density (kg/m ³)	7850	1570
Young's modulus (GPa)	200	190
Poisson's ratio	0.3	0.25
Yield stress (MPa)	250	200

Variasi yang dilakukan oleh peneliti adalah mode deformasi pada *Modal Analysis*. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah berupa nilai distribusi tegangan, distribusi regangan, frekuensi, defleksi dan deformasi total. Beberapa hasil simulasinya adalah gambar dengan deformasi total, distribusi tegangan dan distribusi regangan pada material komposit *carbon fiber* dan *steel* seperti berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 2.7 Deformasi Total (a) *steel* (b) komposit *carbon**fiber*[3]

(*Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials*, Salvy Gaury Sanjay, 2014)

Data hasil penelitian berupa simulasi statis analisa struktur dan analisa modal dapat dilihat pada tabel 2.2 sampai tabel 2.3.

Tabel 2.2 Hasil analisa modal pada material komposit *carbon fiber* dan *steel*[3]

Steel Material	Frequency (Hz)	Deflection (m)	Carbon Fiber Material	Frequency (Hz)	Deflection (m)
Deformation 1	284.01	0.14047	Deformation 1	642.61	0.29486
Deformation 2	327.44	0.17653	Deformation 2	742.71	0.39803
Deformation 3	329.59	0.59997	Deformation 3	745.01	1.2708
Deformation 4	345.54	0.39664	Deformation 4	783.12	0.83607
Deformation 5	388.33	2.152	Deformation 5	872.65	4.531
Deformation 6	403.19	0.45113	Deformation 6	913.64	0.95167

Tabel 2.3 Hasil analisa *Static Structural* pada material komposit *carbon fiber* dan *steel*[3]

Parameter	STEEL	CARBON FIBER
Equivalent Stress	164590000	169450000
Equivalent Strain	0.00082296	0.00073673
Total Deformation	0.00015329	0.00013321

Berdasarkan hasil analisa *Static Structural* dari material komposit *carbon fiber* dan *steel*, nilai tegangan yang dihasilkan pada komposit *carbon fiber* lebih besar dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Sedangkan nilai regangan yang dihasilkan pada komposit *carbon fiber* lebih kecil dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Dan nilai total deformasi yang pada komposit *carbon fiber* lebih kecil dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Sehingga dapat disimpulkan dengan menggunakan komposit *carbon fiber* dengan pengondisian beban yang sama aman digunakan sebagai *chassis*. Keuntungan lain dengan menggunakan komposit *carbon fiber* dapat mereduksi berat sebanyak 60-68% karena densitas komposit *carbon fiber* lebih rendah dari *steel*.

Dari ketiga jurnal penelitian, pada jurnal pertama disebutkan bahwa sifat mekanis dari carbon fiber dengan tipe roll wrapped lebih baik dari segala sisi dibanding carbon fiber tube pulltrude, sehingga sifat material yang akan digunakan adalah sifat material dari carbon fiber roll wrapped. Lalu pada jurnal kedua dijadikan referensi mengenai metode permodelan yang digunakan, yaitu metode *finite element analysis*. Mulai dari langkah permodelan hingga analisa *fatigue cycle*. Kemudian pada jurnal yang ketiga diketahui bahwa deformasi pada *carbon fiber* lebih kecil dibanding material *steel* dengan tipe pembebanan yang sama. Selain itu menggunakan komposit *carbon fiber* dapat

mereduksi berat sebanyak 60-68% karena densitas komposit *carbon fiber* lebih rendah dari *steel*.

2.3. Dinamika Kendaraan

Dengan meninjau dinamika kendaraan dapat diketahui gambaran perilaku kendaraan, perilaku arah, kestabilan kendaraan, kenyamanan dan keamanan kendaraan ketika terjadi kecelakaan pada saat berjalan. Hal tersebut sangat kompleks sehingga diperlukan adanya batasan-batasan terhadap analisa tersebut. Pada mobil formula sapuangan speed 4 dirancang dengan menggunakan system suspensi *double wishbone* yang telah umum digunakan pada mobil dengan performa tinggi. *Double wishbone* yang digunakan seperti pada gambar 1, karena membentuk huruf A maka disebut sebagai A arm.



Gambar 2.8 sistem suspensi dengan A arm
(Design of a Carbon Fiber Suspension System for FSAE Applications, Alban C. Cobi, 2012)

Pada analisa kekuatan fatigue dari *A-arm*. Perilaku kendaraan diasumsikan sesuai dengan kondisi mobil pada masing-masing event yang ada di kompetisi *Student Formula japan* yang meliputi endurance, skidpad, acceleration, dan autocross. Di mana berpengaruh pada besarnya gaya uji.

2.3.1. Gaya Dorong (F_t)

Gaya dorong yang dihasilkan oleh putaran mesin pada kendaraan bermotor dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$- F_t = R_a \pm R_r \pm F_r \quad (1)$$

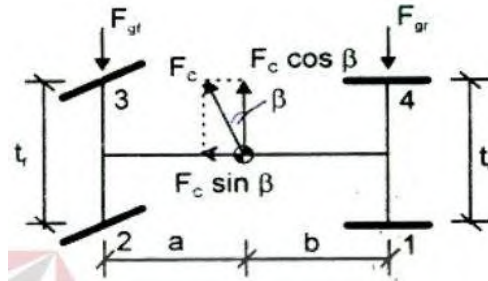
R_a : gaya hambat angin

R_r : *rolling resistant* roda

F_r : gaya engine penggerak roda belakang

Dimana m adalah massa total dari mobil sapuan speed 4, sedangkan a adalah percepatan dari mobil sapuan speed 4.

2.3.2. Gaya Sentrifugal (F_c), Momen Guling (M_g) dan Momen Pitching (M_p).



Gambar 2.9 gaya sentrifugal, momen guling dan momen pitching. (TEKNOLOGI OTOMOTIF: Teori dan Aplikasi. I Nyoman Sutantra, 2001)

$$- F_c = m \cdot \frac{v^2}{R_{ack}} \quad (2)$$

$$- M_g = F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c \cdot \cos \gamma + W \cdot r_c \cdot \sin \gamma \quad (3)$$

$$- M_p = F_c \cdot \sin \beta \cdot r_c \cdot \cos \phi + W \cdot r_c \cdot \sin \phi \quad (4)$$

Perpindahan gaya normal dari belakang ke depan akibat momen pitching.

$$- \Delta F_{ZL} = \frac{M_p}{l} + \frac{F_c \cdot \sin \phi \cdot h}{l} \quad (5)$$

2.3.3. Gaya Normal roda ketika berbelok

Dengan menerapkan rumus standard statika, besar gaya normal pada masing-masing roda dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_{zi} = W_i \pm F_{mgi} \pm F_{mpi} \quad (6)$$

Di mana :

F_{zi} : gaya normal pada masing-masing roda
($i=1,2,3,4$)

W_i : gaya berat pada masing-masing roda

F_{mgi} : gaya normal pada masing-masing roda akibat momen guling.

F_{mpi} : gaya normal pada masing-masing roda akibat momen pitching

$$F_{z1} = \frac{a}{2(a+b)} (W - F_L) - \frac{a}{a+b} \left[\frac{F_c \cdot h \cos \beta + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] - \frac{h \cdot F_c \sin \beta - F_d - M_{pa}}{2(a+b)} \quad (7)$$

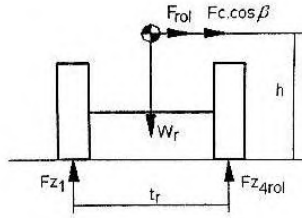
$$F_{z2} = \frac{b}{2(a+b)} (W - F_L) - \frac{b}{a+b} \left[\frac{F_c \cdot h \cos \beta + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] + \frac{h \cdot F_c \sin \beta - F_d - M_{pa}}{2(a+b)} \quad (8)$$

$$F_{z3} = \frac{b}{2(a+b)} (W - F_L) + \frac{b}{a+b} \left[\frac{F_c \cdot h \cos \beta + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] + \frac{h \cdot F_c \sin \beta - F_d - M_{pa}}{2(a+b)} \quad (9)$$

$$F_{z4} = \frac{a}{2(a+b)} (W - F_L) + \frac{a}{a+b} \left[\frac{F_c \cdot h \cos \beta + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] - \frac{h \cdot F_c \sin \beta - F_d - M_{pa}}{2(a+b)} \quad (10)$$

2.3.4. Gaya Impact Rolling

Gaya impact terjadi ketika kendaraan tepat awal berbelok. Mobil akan menerima gaya sentrifugal keluar radius belok mobil.



Gambar 2.10 impact rolling
(TEKNOLOGI OTOMOTIF: Teori dan Aplikasi. I Nyoman Sutantra, 2001)

Di mana:

$$\begin{aligned}
 - \sum M_{z4} &= 0 \\
 &= F_{roll} \cdot h + F_c \cos \beta \cdot h - \frac{W r \cdot tr}{2} \quad (11) \\
 - F_{roll} &= \frac{W r \cdot tr}{2} - F_c \cos \beta \\
 - \sum M_{z4} &= 0 \\
 &= \frac{W r \cdot tr + F_{roll} \cdot F_c \cos \beta \cdot tr}{2} - F_{z4roll} \cdot tr \\
 - F_{z4roll} &= \frac{W r \cdot tr + F_{roll} \cdot F_c \cos \beta}{2}
 \end{aligned}$$

Maka persamaannya menjadi

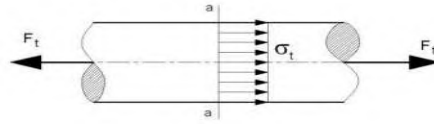
$$- F_{z4roll} = \frac{W r + \frac{W r \cdot tr}{2 \cdot h}}{2} \quad (12)$$

2.4. Teori Tegangan

Tegangan normal terjadi apabila dua gaya (F_t atau F_c) yang besarnya sama dan berlawanan arah bekerja tegak lurus pada potongan suatu benda. (Juvinnal, 1967)

Kondisi tarik (*tension*) :

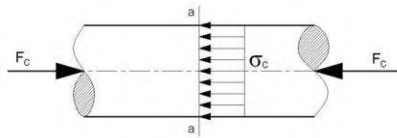
$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_{(a-a)}} \quad (13)$$



Gambar 2.11 Tegangan normal tarik pada silinder
(Juvinnal, 1967)

Kondisi tekan (*compression*) :

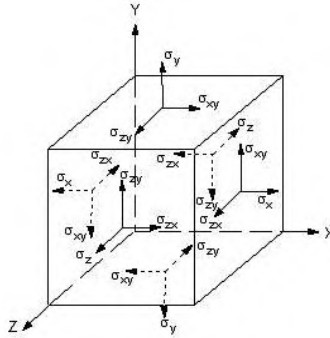
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_{(a-a)}}$$



Gambar 2.12 Tegangan normal tekan pada silinder
(Juvinnal, 1967)

Tegangan dilihat pada sebuah titik apabila diperbesar berupa bentuk kubus yang memiliki dimensi dx, dy dan dz seperti pada gambar 2.11. Dengan mengambil suatu sumbu referensi orthogonal (*Cartesian*) maka kubus tersebut akan memiliki 9 komponen sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_y & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$



Gambar 2.13 Tensor Tegangan
(Juvinnal, 1967)

Di mana memiliki Tegangan Prinsipil yang didapat dari persamaan :

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2\sigma - I_3 = 0 \quad (14)$$

sehingga diperoleh σ_1 , σ_2 dan σ_3

dimana,

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (15)$$

$$I_2 = \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_x \cdot \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \quad (16)$$

$$I_3 = \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{xz} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 - \sigma_y \cdot \tau_{xz}^2 - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2 \quad (17)$$

Sedangkan tegangan ekuivalennya didapat dari persamaan :

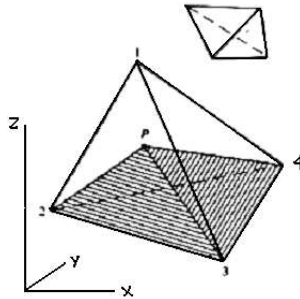
$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (18)$$

atau

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2} \quad (19)$$

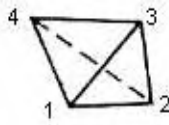
2.6. Metode Elemen Hingga.

Elemen tetrahedron adalah elemen yang paling mudah untuk dibentuk dalam suatu model matematika.



Gambar 2.14 elemen tetrahedron

elemen tetrahedron yang digunakan dalam analisa distribusi tegangan pada lower arm ini adalah jenis *four corner rod 12 dof* constan strain tetrahedron. Elemen ini memiliki 4 *node* dengan masing-masing *node* memiliki 3 *DOF* (u, v, dan w) seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Node elemen tetrahedron
(Nakasone, 2006)

Matrik kekakuan pada elemen *tetrahedron* didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$[k] = \int_V [A]^T [C] [A] dV \quad (20)$$

dimana :

$$[A] = [G][B]^{-1} \quad (21)$$

dengan memasukan $[A]$ maka akan didapat :

$$[k] = ([B]^{-1})^T \left[\int_V [G]^T [C] [G] dV \right] [B]^{-1} \quad (22)$$

Kemudian setelah mendapatkan matrik kekakuan, kemudian matrik beban total dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\{F\} = [k]\{q\} - \{F^1\} \quad (23)$$

dengan memasukan harga $[k]$ dan $\{q\}$ maka didapat :

$$\{F^1\} = ([B]^{-1})^T \int_V [G]^T [C] \{\varepsilon^1\} dV \quad (24)$$

dengan integrasi volume dalam koordinat polar didefinisikan:

$$V = \iiint dV = \iiint r d\theta dz dr = 2\pi \iint r dr dz \quad (25)$$

Pada elemen *tetrahedron*, *displacement component* diasumsikan merupakan fungsi linier dari koordinat *tetrahedral*. Sehingga komponen displacement pada elemen *tetrahedron* dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$u = \xi_1 u_1 + \xi_2 u_2 + \xi_3 u_3 + \xi_4 u_4 = \sum_{i=1}^4 N_i u_i \quad (26)$$

$$v = \xi_1 v_1 + \xi_2 v_2 + \xi_3 v_3 + \xi_4 v_4 = \sum_{i=1}^4 N_i v_i \quad (27)$$

$$w = \xi_1 w_1 + \xi_2 w_2 + \xi_3 w_3 + \xi_4 w_4 = \sum_{i=1}^4 N_i w_i \quad (28)$$

dengan :

$$\xi_i = \frac{1}{6V} (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y + \delta_i z) \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (29)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 6V \quad (30)$$

$$\xi_1 = \frac{V_1}{V} \quad \xi_2 = \frac{V_2}{V} \quad \xi_3 = \frac{V_3}{V} \quad \xi_4 = \frac{V_4}{V}$$

dimana :

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = V \quad \text{dan} \quad \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 1$$

Setelah mendefinisikan *displacement component* dari *node* pada elemen *tetrahedron*, kemudian dapat didefinisikan persamaan *strain-displacement* untuk koordinat *tetrahedral* sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_x & 0 & 0 \\ 0 & N_y & 0 \\ 0 & 0 & N_z \\ N_y & N_x & 0 \\ 0 & N_z & N_y \\ N_z & 0 & N_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [A] \{q\} \quad \text{dengan } N \text{ adalah } \textit{shape function}$$

Pada akhirnya setelah mendefinisikan regangan kemudian akan didapat hubungan antara tegangan dan regangan 3 dimensi (*three-*

dimensional stress-strain) untuk material *isotropic*, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

$$\{\sigma\} = [C]\{\epsilon\}$$

2.8. Composite (Carbon Fiber)

Komposit merupakan material multifase yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan sifat mekanik yang tidak bisa didapatkan apabila material diaplikasikan secara individual[17]. Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro dan memiliki sifat seperti sebelumnya. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

Sifat komposit bervariasi dan tergantung pada berbagai macam faktor antara lain : jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen.

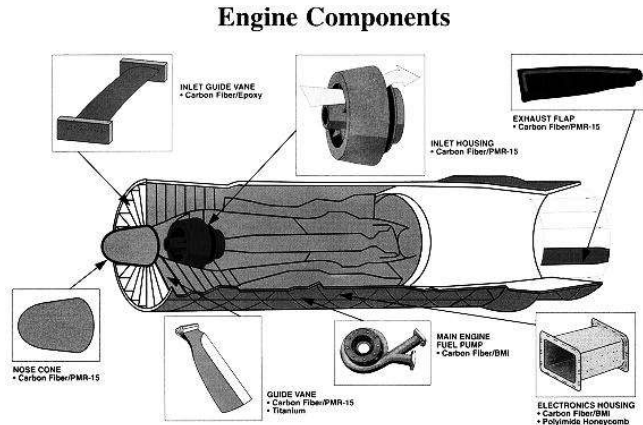
Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain :

1. Material komposit mampu berperan menjadi bagian terintegrasi, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.

2. Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionya 1/5 dari baja dan 1/2 dari aluminium.
3. Komposit memiliki *strength-to-density ratio* yang baik. Dengan kelebihan ini pesawat maupun kendaraan bermotor bisa bergerak lebih cepat dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Kekuatan spesifiknya sekitar tiga hingga lima kali lebih baik jika dibandingkan dengan baja, oleh karena itu komponen pesawat terbang menggunakan komposit karena lebih ringan namun tetap kuat.
4. *Endurance limit* (*fatigue strength*) dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja *endurance limit* berada pada 50% dari nilai *static strength*, sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength*. [18]

Komposit banyak diaplikasikan dalam dunia industri salah satunya adalah industri pesawat terbang. Komponen pesawat terbang harus memiliki *strength-to-density* yang baik, komponen harus ringan tapi kuat, dimana dengan berat yang sama komposit mampu menahan beban yang memiliki nilai lebih tinggi jika dibanding dengan baja agar pesawat mampu terbang dengan kinerja lebih baik. Pada aplikasinya, variasi susunan yang biasa digunakan menggunakan sudut susunan 0° , 45° dan 90° pada proses manufaktur.

Berikut ini contoh gambar aplikasi pada komponen penyusun mesin pesawat terbang yang terbuat dari komposit :



Gambar 2.16 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit[18]

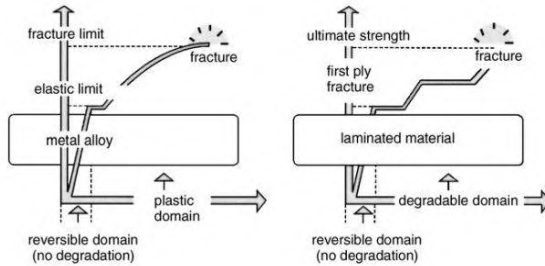
2.9. Tsai Hill Theory

Tsai hill meninjau pada material orthotrop memiliki sifat yang berbeda ketika dikenakan gaya padanya. Pada Tsai hill σ_l adalah besarnya tegangan longitudinal yang terjadi searah sumbu, kemudian σ_t adalah tegangan transversal atau tegangan melintang, lalu τ_{lt} adalah tegangan geser.

- Diketahui tsai hill number sebagai berikut. Nilai $\sigma_{rupture}$ memiliki nilai yang berbeda antara kompresi dan Tarik.

$$\alpha^2 = \left(\frac{\sigma_l}{\sigma_{l \text{ rupture}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{t \text{ rupture}}} \right)^2 - \frac{\sigma_l \sigma_t}{\sigma_{l \text{ rupture}}^2} + \left(\frac{\tau_{lt}}{\tau_{lt \text{ rupture}}} \right)^2 \quad (31)$$

Dengan nilai $\alpha < 1$, lapisan tidak terjadi patah, dan apabila nilai $\alpha \geq 1$ lapisan mengalami patah, pada lapisan yang patah sifat material yang ada pada lapisan tersebut diabaikan.



Gambar 2.17 perbandingan antara metal alloy dan material berlapis
(Daniel Gay, 1942)

Untuk mendapatkan nilai dari σ_l , σ_t , dan τ_{lt} , dengan menggunakan tabel appendix dari buku Daniel Gay tentang Composite Material, sesuai dengan persentase dari epoxy yang digunakan. Nilai dari ketiganya merupakan nilai perlapisan yang kemudian dicari nilai equivalennya.

b. Modulus elastisitas, deformasi.

Untuk berbagai variasi penyusunan yaitu 0° , 90° , dan $\pm 45^\circ$. untuk mencari bagaimana menentukan deformasi dari material berlapis, seperti dibawah ini.

The figure shows a square element under stress. The vertical axis is labeled 'y' and the horizontal axis is labeled 'x'. The vertical stress is labeled σ_y , the horizontal stress is labeled σ_x , and the shear stress is labeled τ_{xy} . To the right of the diagram is the matrix equation for the stress-strain relationship:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

Gambar 2.18 cara mencari regangan normal dan regangan geser.

(Daniel Gay, 1942)

$E_x, E_y, G_{xy}, \nu_{xy}, \nu_{yx}$ adalah nilai dari modulus elastisitas dan *poison ratio*, lalu untuk $\varepsilon_x, \varepsilon_y$, dan γ_{xy} adalah regangan normal dan regangan geser pada bidang xy .

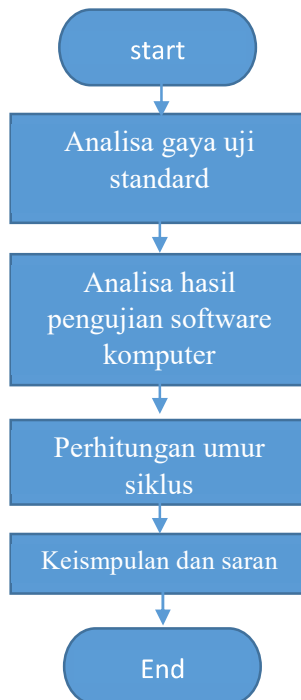
[HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN]

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan membahas mengenai metodologi pada penelitian ini, diantaranya bagaimana diagram alur penelitian, kemudian perhitungan beban, diagram simulasi pengujian dan yang terakhir berisikan tentang proses pemodelan dari A-arm carbon fiber.

3.1. Diagram Alur Penelitian

Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian disajikan dalam bentuk flowchart, seperti yang bias dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.1. flowchart alur penelitian

Dari flowchart di atas diketahui tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian, yang kemudian akan dijelaskan bagaimana jalannya masing-masing tahapan pada table di bawah ini:

Table 3.1. Deskripsi Diagram Alur Penelitian

PROSES	KETERANGAN
Analisa gaya uji standard	Melakukan analisa perhitungan dinamika kendaraan dengan memperhatikan karakteristik kendaraan.
Analisa menggunakan software computer	Melakukan permodelan Melakukan meshing Melakukan pengujian dengan beban secara simulasi
Analisa Hasil simulasi	Setelah didapatkan hasil deformasi, kemudian dilakukan analisa apakah deformasi yang terjadi sesuai kriteria aman, lalu ditinjau kegagalan berdasarkan kriteria <i>tsi hill</i>

3.2. *Material Properties* yang Digunakan.

Material properties untuk menginputnya menggunakan model structural elasticisotropic. Material yang digunakan sesuai dengan jenis material yang dimiliki oleh tim sapuangin. Material properties dari carbon fiber yang digunakan:

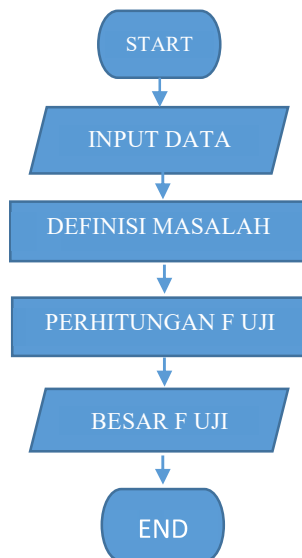
Table 3.2. material properties dari carbon fiber yang digunakan
(Kyoto-carbon.corp)

Carbon Fiber Properties		unit
Tensile Strength	3310	Mpa
Tensile Modulus	240	Gpa
Strain	1.6	%
Density	1.78	g/cm ³

Yield	220	g/1000m
Sizing Type and Amount	1.0 – 1.5	%
Elastic Modulus	241	Gpa
Percent Elongation	1.8	%
Poison Ratio	0.1	

3.3. Perhitungan Beban

Untuk melakukan pemodelan harus diketahui dulu besar gaya-gaya yang akan digunakan. Untuk menentukan gaya uji dilakukan peninjauan gaya dengan masing-masing tahapan lomba yang dirasa menimbulkan gaya yang besar ketika mobil bermanuver. Untuk tahapan dalam perhitungan dapat dilihat pada flowchart di bawah ini:



Gambar 3.2. Flowchart Perhitungan Beban.

Dari flowchart di atas kemudian dijabarkan bagaimana masing-masing tahapan dilakukan. Penjelasan dari masing-masing tahapan bisa dilihat pada tabel dibawah ini:

Table 3.3. Deskripsi Diagram Alur Perhitungan Beban

PROSES	KETERANGAN
Input Data	Menentukan data-data yang ada berupa: <ul style="list-style-type: none"> - Massa kendaraan - Kecepatan kendaraan - Dll
Definisi Masalah	Mendefinisikan permasalahan yang akan ditinjau. Di antaranya: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Acceleration Event</i> - <i>Skidpad event</i> - <i>Braking Test</i>
Perhitungan Gaya Uji	Menghitung gaya-gaya yang timbul berdasarkan even yang diikuti. Dengan meninjau: <ul style="list-style-type: none"> - Gaya vertikal - Gaya sentrifugal - Momen guling - Momen pitching - Gaya dorong

Beban vertical didapat dari menjumlahkan massa-massa dari komponen mobil yang masuk pada kategori *sprung masses*. Dengan rincian sebagai berikut:

Table 3.4. *Unsprung Masses* Komponen

No.	Nama beban	Massa (kg)	jumlah	massa (kg)	Berat (N)
1	<i>Roda+ velg</i>	9.8	4	39.2	384.552
2	<i>Upright</i>	1.2	4	4.8	47.088
3	Bracket	0.2	4	0.8	7.848

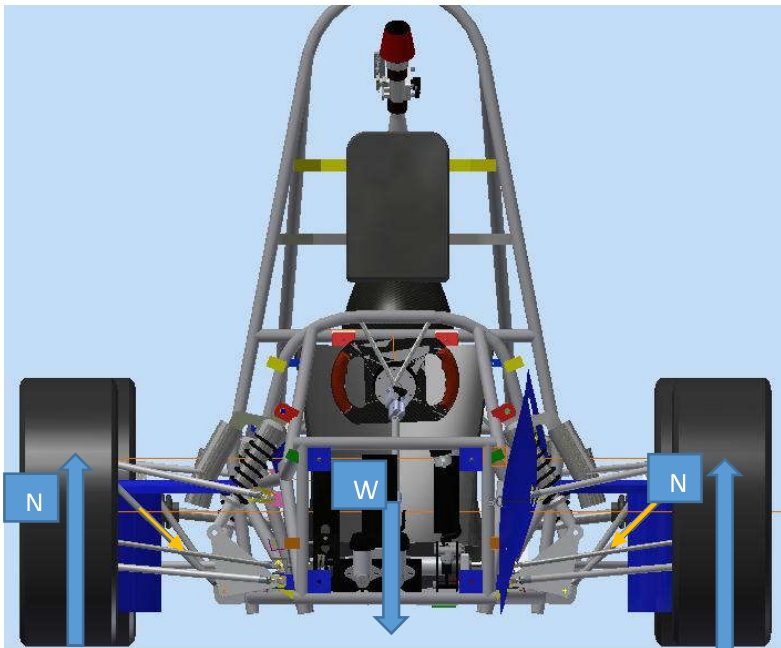
4	<i>Hub</i>	0.7	4	2.8	27.468
5	<i>Disk Brake</i>	0.7	4	2.8	27.468
6	<i>Caliper</i>	0.2	4	0.8	7.848
7	<i>Bearing</i>	0.4	8	3.2	31.392
Jumlah				54.4	533.664

Dengan besar percepatan gravitasi sebesar 9.81 m/s^2

$$W_{sprung} = (W_{mobil} + W_{driver}) - W_{unsprung}$$

$$W_{sprung} = 3041,1 \text{ N} - 533,664 \text{ N}$$

$$W_{sprung} = 2507,436 \text{ N}$$



Gambar 3.3 Free Body Diagram Gaya Normal Roda Tampak Depan

3.3.1. Skidpad

Pada tahapan skidpad, mobil akan bermanuver pada lintasan berbentuk angka 8 dengan diameter masing-masing lintasan sebesar 15.25m. dan dengan kecepatan maksimum sebesar 30km/jam atau 8.35m/s. Gaya sentrifugal, momen guling dan momen pitching dicari dengan data acuan hasil dari *skidpad event* tahun lalu pada SFJ. Yaitu dengan diameter lingkaran lintasan sebesar 15.25 m yang ditempuh selama 5.732 s, didapat kecepatan rata-rata dari mobil sebesar 30km/jam atau sebesar 8.35 m/s.

Gaya-gaya yang bekerja ketika mobil bermanuver pada lintasan skidpad sesuai dengan posisi a arm yang akan dianalisa, bisa diuraikan sebagai berikut:

- a. A-arm depan
 - Gaya normal roda
 - Momen guling
 - Momen pitching
 - Gaya centrifugal
 - b. A-arm belakang
 - Gaya normal roda
 - Momen guling
 - Momen pitching
 - Gaya centrifugal
 - Gaya dorong
1. Gaya Normal Roda

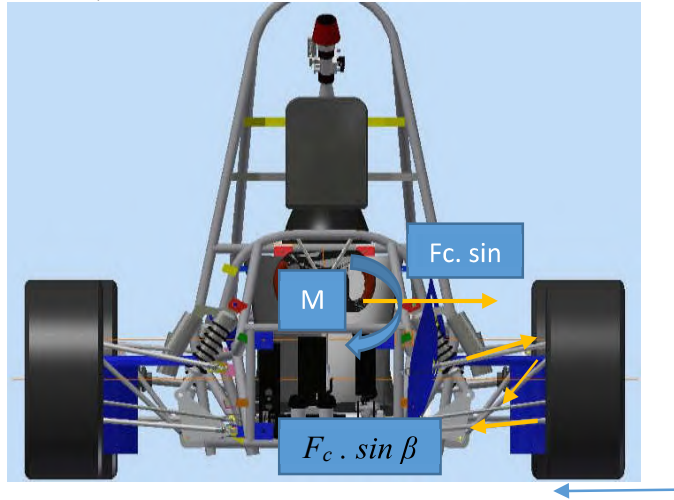
Masing-masing roda akan memiliki nilai gaya normal yang berbeda saat berbelok, gaya normal ini adalah reaksi dari adanya berat mobil, momen guling, dan momen pitching yang timbul ketika kendaraan berbelok, yang nantinya beban tersebut akan disalurkan ke suspensi oleh A-arm yang telah dirancang, berikut adalah perumusan dari gaya normal dari masing-masing roda.

- a. Roda depan kanan

Dari persamaan 6 didapat bahwa F_{z3} sebesar 782,8116 N

b. Roda kanan belakang

Dari persamaan (6) didapat besarnya F_{z4} sebesar 901,4 N



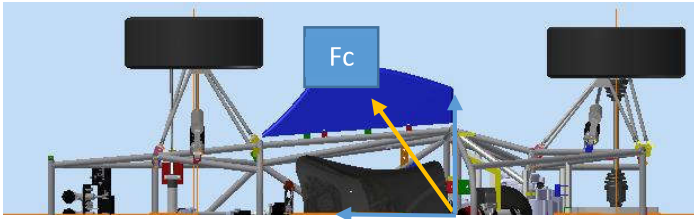
Gambar 3.4 Tampak Depan Free Body Diagram Saat Berbelok
Momen pitching yang terjadi ketika belok sebesar.

$$M_p = 175,4 \text{ N}$$

2. Gaya Centrifugal

Gaya centrifugal timbul ketika kendaraan berbelok dengan kecepatan tertentu dengan lintasan yang membentuk suatu jari-jari lingkaran. Berikut perumusannya:

$$F_c = 2834,6 \text{ N}$$



Gambar 3.5 Free Body Diagram Gaya Centrifugal Saat Berbelok

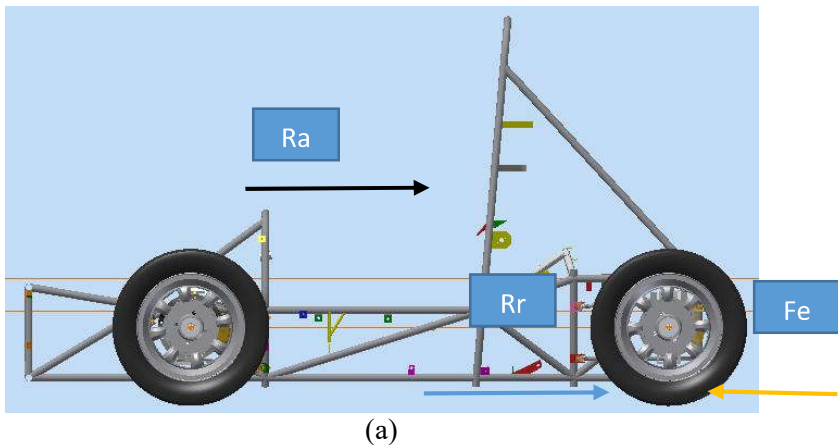
Maka gaya yang diterima per roda adalah dengan membagi sejumlah roda, sehingga didapat gaya centrifugal pada masing-masing roda.

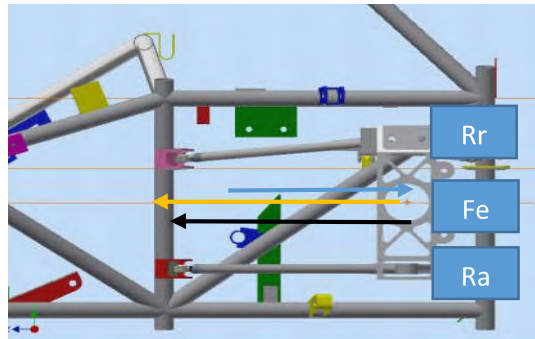
3. Gaya Dorong

Selama proses menyelesaikan lintasan skidpad, mesin tetap bekerja, sehingga tetap ada gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin terhadap kendaraan.

$$F_r = 665,7 \text{ N}$$

Gaya dorong ini nantinya akan disalurkan ke dua roda belakang, sehingga untuk mengetahui beban tiap roda, maka nantinya akan kalikan dengan 0.5, atau dibagi dua.





(b)

Gambar 3.6(a)(b) Free Body Diagram Gaya Dorong Tampak Samping

3.3.2. Akselerasi

Pada saat akselerasi gaya yang bekerja dan timbul adalah , gaya dorong, dan gaya normal roda yang merupakan hasil dari beban masa tiap roda dan momen pitching yang timbul.

1. Gaya normal roda

Gaya normal yang timbul saat pengereman pada roda depan dan belakang terdapat perbedaan yaitu sebagai berikut:

- Gaya normal pada roda depan
 $F_{z32} = 228,29 \text{ N}$
- Gaya normal roda belakang
 $F_{z41} = 827,535 \text{ N}$

2. Gaya dorong

$$F_t = 1.384,6 \text{ N}$$

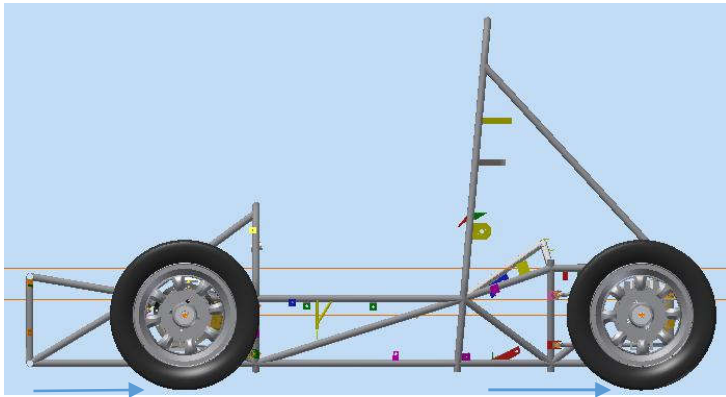
3.3.3. Pengereman

Pada saat dilakukan pengereman gaya-gaya yang terjadi adalah sebagai berikut:

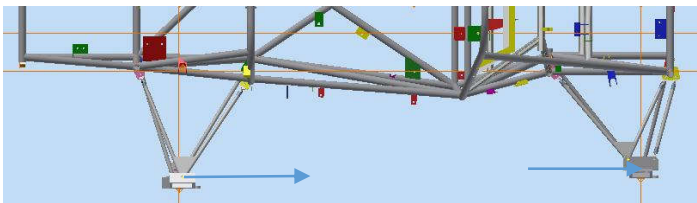
1. Gaya normal roda

- Roda depan
 $F_{z41} = 755,25 \text{ N}$

- Roda normal belakang
 $F_{z23} = 250,16 \text{ N}$
- 2. Gaya rem
 Gaya pengereman yang timbul dalam proses pengereman sebesar 1594,65 N



(a)

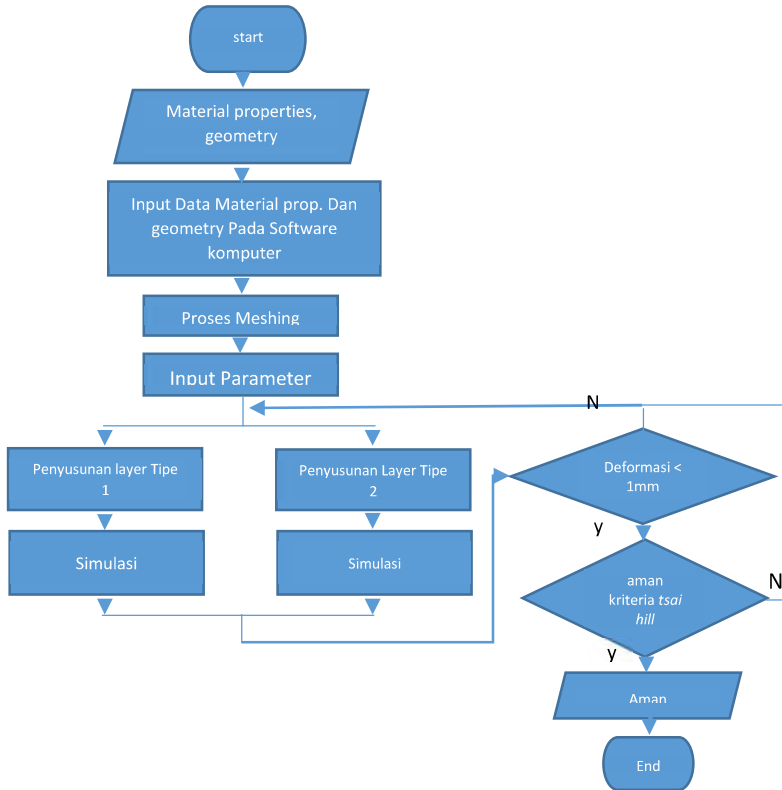


(b)

Gambar 3.7(a) Free Body Diagram Saat Pengereman Tampak Samping (b) Free Body Diagram Pengereman Tampak Atas

3.4. Diagram Alir Simulasi Pengujian Dan Perhitungan Umur Siklus

Berikut merupakan tahapan dalam proses pemodelan carbon fiber A-arm yang disajikan dalam bentuk flowchart seperti dibawah ini:



Gambar 3.8. flowchart simulasi pengujian

Dari flowchart di atas kemudian dijelaskan bagaimana masing-masing tahapan dilakukan. Yang akan dijelaskan pada table di bawah ini:

Table 3.5. deskripsi flowchart simulasi pengujian

PROSES	KETERANGAN
Material Properties	Data-data material yang akan digunakan dalam pembuatan A arm sapuangan speed. - Dimensi

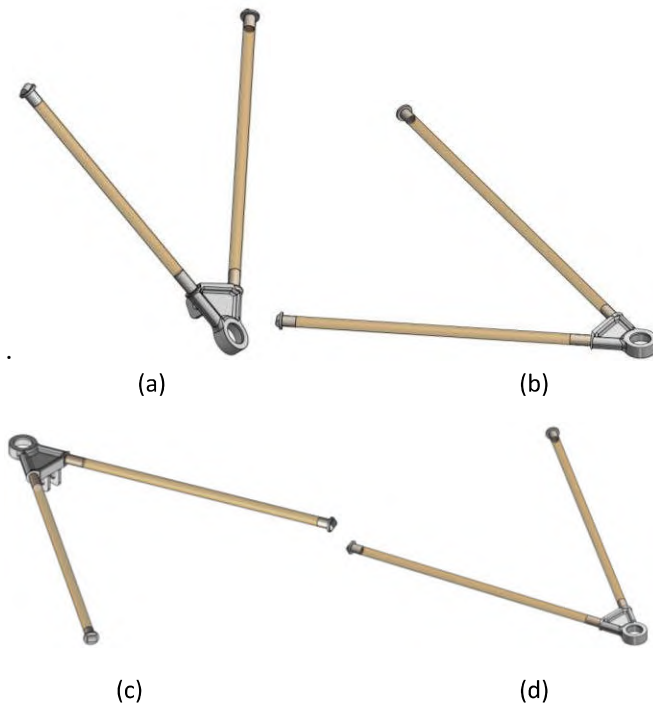
	<ul style="list-style-type: none"> - Jenis material beserta propertiesnya
Simulasi Ansys	<ul style="list-style-type: none"> - Memasukkan data material yang telah didapat. - Membuat modelling 3 dimensi skala 1:1. - Meshing model yang telah dibuat. - Memasukkan parameter pengujian dan melakukan simulasi pengujian. - Hasil yang didapat berupa tegangan maksimum yang terjadi.
Perhitungan Umur Siklus	<ul style="list-style-type: none"> - Dari data output didapat dan dilakukan perhitungan dengan teori VonMISES maka diperoleh umur siklus dari desain A arm. - Membandingkan dengan umur siklus yang diijinkan berdasarkan standard pengujian fatigue lower rear arm Daihatsu xenia PT. Astra International.

3.5. Pemodelan

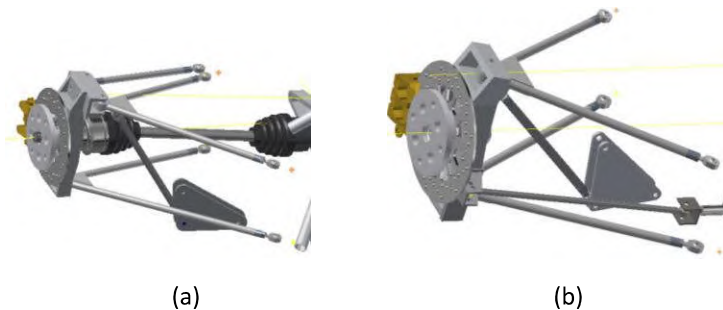
Pada pemodelan yang dilakukan hanya dilakukan pada satu sisi dari mobil sapuangin speed, karena bagian kanan dan kiri mobil simetris. Sedangkan bagian belakang dan depan dari *suspention system* memilki geometri yang berbeda, sehingga tetap dilakukan pemodelan untuk bagian depan dan belakang. Tipe susunan dari *carbon fiber* disesuaikan dengan hasil simulasi menggunakan material isotrop(*steel*).

Pada tahap pemodelan digunakan *software* yang berbeda dengan *software* ketika melakukan simulasi. Pada tahap pemodelan *software* yang digunakan berupa *software Autodesk Inventor Student Licenses*, yang kemudian di *import* ke program untuk simulasi, dan material yang digunakan kemudian disesuaikan.

Pada pemodelan kali ini digunakan jenis *solid* dimana memiliki kemampuan untuk menganalisa suatu benda kerja dengan bentuk yang tidak simetris dengan meshing yang tidak teratur. Di mana memiliki delapan node yang masing-masing node memiliki derajat kebebasan (d.o.f) sendiri



Gambar 3.9 (a) upper arm belakang (b) lower arm belakang (c) upper arm depan (d) lower arm depan

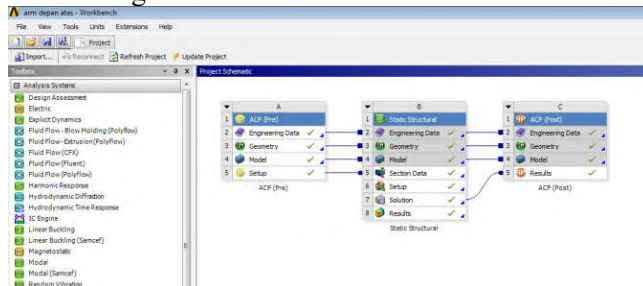


Gambar 3.10 (a) susunan upper arm dan lower arm belakang kanan, (b) susunan upper arm dan lower arm depan kanan.

Pada tahapan pemodelan, yang pertama dilakukan adalah memasukkan properties dari material ke *software* yang digunakan, yaitu material *carbon fiber woven*. Kemudian memasukkan geometri *a-arm* yang telah didesain menggunakan *software* lain, lalu di meshing. Kemudian menentukan gaya-gaya yang akan bekerja selama simulasi, dan menentukan output apa yang diinginkan dari proses simulasi.

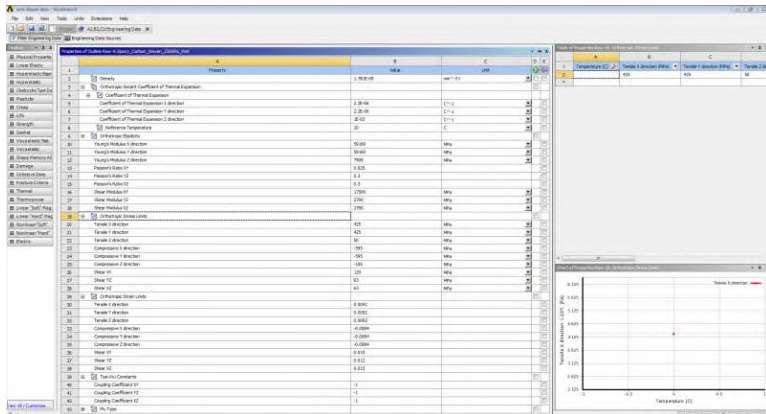
3.5.1. Langkah-langkah Simulasi

- a. Menentukan jenis analisa yang akan dilakukan, yaitu analisa dengan metode static.

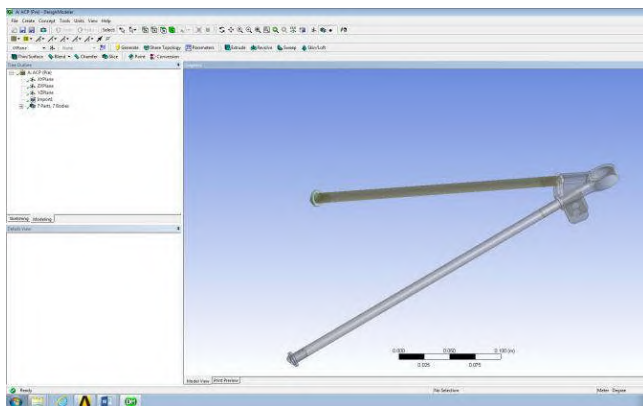


Gambar 3.11 Penentuan Jenis Analisa

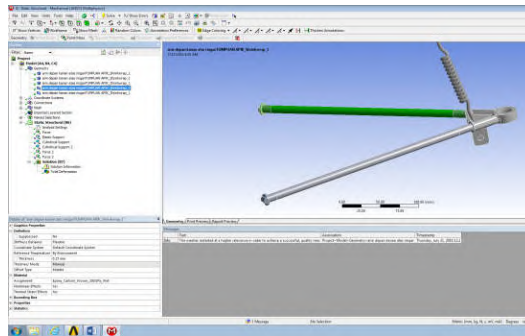
- b. Memasukkan material properties dari carbon fiber



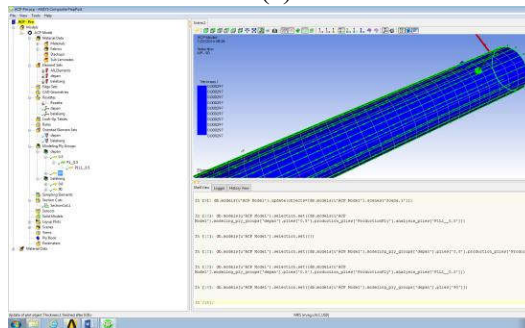
Gambar 3.12 Memasukkan *material properties* dari carbon fiber
c. Memasukkan geometri yang akan dianalisa



Gambar 3.13 memasukkan *geometry* yang akan dianalisa
d. Menentukan material dari geometri yang akan dianalisa, dengan susunan sesuai variable yang dibuat.



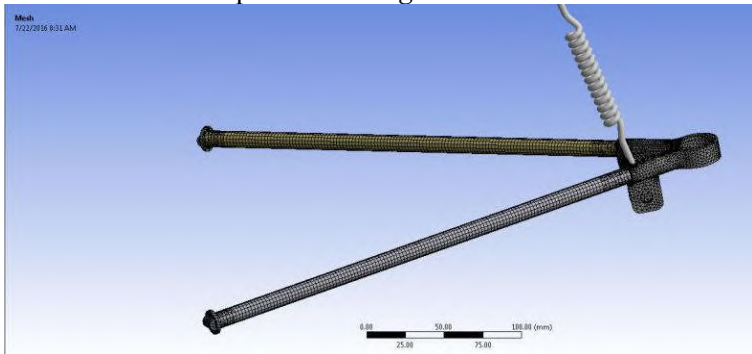
(a)



(b)

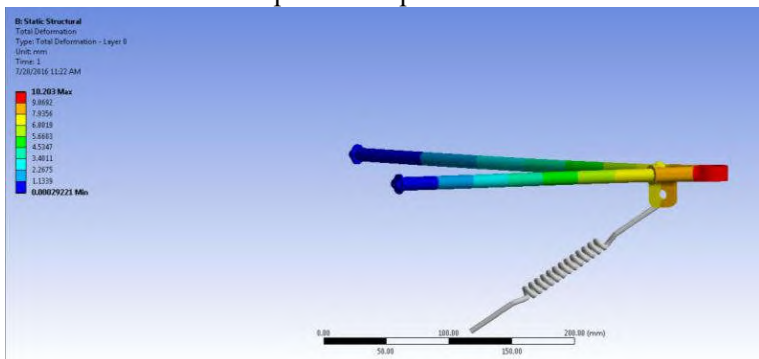
Gambar 3.14(a)(b) Menentukan Material Dari Geometry Yang Akan Dianalisa

e. Dilakukan proses *meshing*



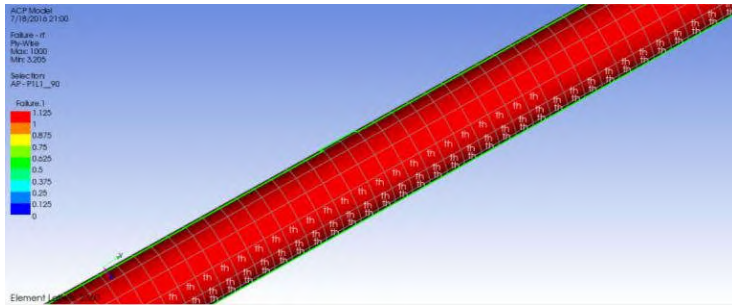
Gambar 3.15 Dilakukan Proses *Meshing*

f. Memasukkan parameter-parameter untuk simulasi



Gambar 3.16 memasukkan parameter-parameter untuk simulasi

g. Meninjau hasil simulasi pada ACP Post.



Gambar 3.17 Meninjau Hasil Simulasi Pada ACP Post

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Metode Analisa

Analisa dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari A-arm carbon fiber tube yang telah dirancang melalui simulasi dengan bantuan perangkat lunak computer, dilakukan dengan metode statis. Gaya-gaya yang digunakan dalam pengujian berdasarkan dinamika kendaraan ketika melakukan maneuver ekstrim selama lomba.

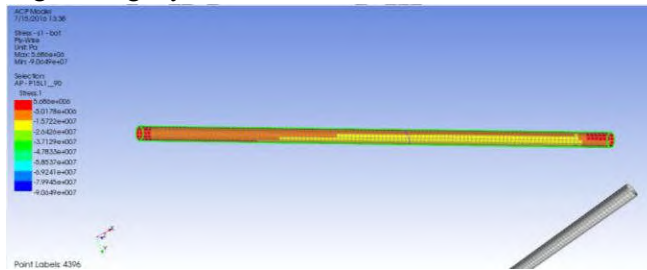
Pertama-tama dilakukan perancangan susunan dari layer carbon fiber pada A-arm dengan mengacu pada analisa dan referensi yang telah didapat. Setelah itu dilakukan simulasi berdasarkan maneuver ekstrim yang dilakukan oleh mobil selama perlombaan, yaitu skidpad, akselerasi, dan pengereman. Masing-masing maneuver dijadikan acuan dalam pengujian masing-masing A-arm dengan variasi layer terluar dari tube yang digunakan sebagai a-arm pada sapuangan speed 4.

Selanjutnya hasil dari perancangan dan simulasi dibandingkan dengan A-arm yang berbahan steel, dari factor massa dan kekuatan ketika dilakukan simulasi. Apabila pada proses simulasi terjadi kegagalan pada layer carbon yang telah dirancang, maka dilakukan perancangan ulang dengan menambahkan jumlah layer ataupun merubah susunan yang digunakan.

4.2. Proses Simulasi dengan Bantuan Perangkat Lunak Komputer

Dari beberapa simulasi yang telah dilakukan, didapatkan beberapa hasil dari simulasi berdasarkan dinamika kendaraan selama kendaraan mengikuti perlombaan, yaitu di antaranya skidpad, akselerasi, pengereman. Dengan 4 tipe susunan carbon fiber.

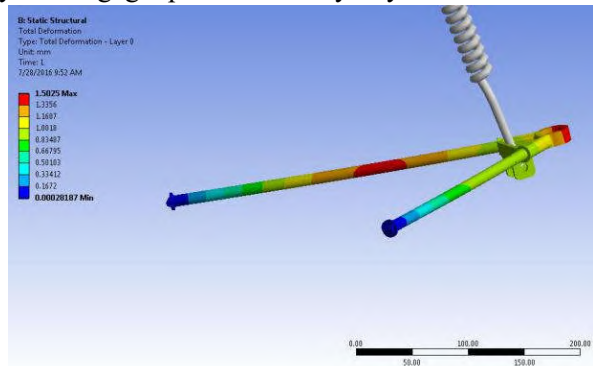
- a. Langkah Penyusunan layer pada A-arm carbon fiber tube.
 Pada proses penyusunan carbon fiber melalui ACP sebagai *add on* tambahan pada software ansys yang digunakan. Pada proses perancangan pertama harus ditentukan arah penebalan yang nantinya akan dilakukan apakah ke arah luar atau ke dalam. Kemudian dilakukan penentuan arah penyusunan ke arah aksial dari layer tersebut. Lalu penentuan sudut carbon pada masing-masing layer.



Gambar 4.1 proses penyusunan arah carbon fiber per layer menggunakan add on ACP.

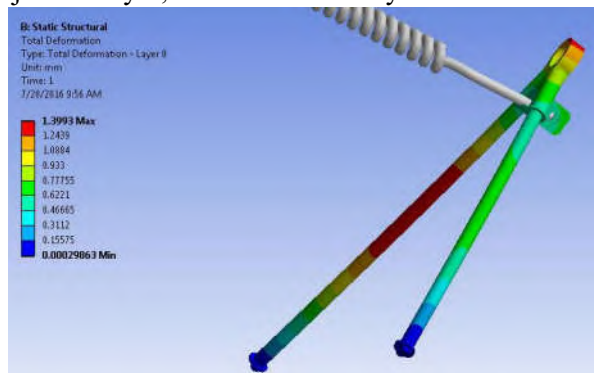
- b. Variasi susunan layer
 Dalam proses penentuan variasi penyusunan ada beberapa tahapan untuk akhirnya menentukan tipe lapisan yang paling bagus.
- Percobaan I
 Penyusunan carbon fiber dilakukan dengan jumlah 6 layer, dengan susunan
 90° 1 layer
 45° 1 layer
 0° 2 layer
 -45° 1 layer
 -90° 1 layer
 Tipe susunan layer carbon fiber tersebut umumnya digunakan pada geometry plat. Dari susunan carbon fiber seperti di atas didapatkan bahwa besarnya deformasi yang

dihasilkan lebih dari 1 mm, dan menurut kriteria *tsai hill* dinyatakan gagal pada semua layernya.



Gambar 4.2 hasil simulasi percobaan 1

Setelah didapatkan hasil tersebut, kemudian selanjutnya dilakukan penebalan dari layer carbon fiber tersebut menjadi 10 layer, dan berikut hasilnya.



Gambar 4.3 Hasil simulasi percobaan I dengan penambahan layer menjadi 10 layer

Dari hasil di atas ternyata deformasi yang ditimbulkan masih terlalu besar. Sehingga perlu dilakukan perubahan susunan dengan mencari referensi lainnya.

- Percobaan II

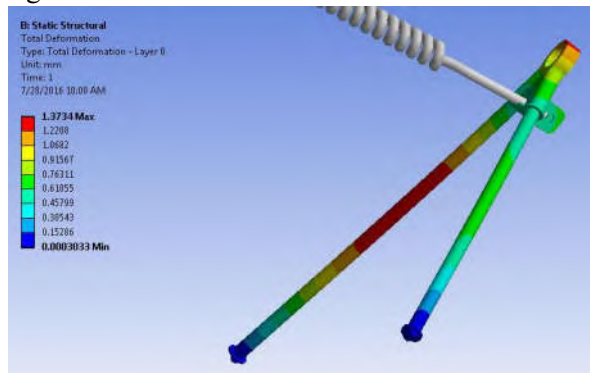
Pada percobaan ke 2. Karena beban-beban yang bekerja pada A-arm adalah beban yang cenderung menyebabkan bending, maka jumlah layer yang disusun searah atau longitudinal tube di perbanyak jumlah layernya. Maka didapat susunan layer sebagai berikut:

45° 2 layer

90° 6 layer

0° 2 layer

Dari susunan diatas kemudian dilakukan simulasi dengan bantuan perangkat lunak computer, dan hasilnya seperti pada gambar di bawah ini.



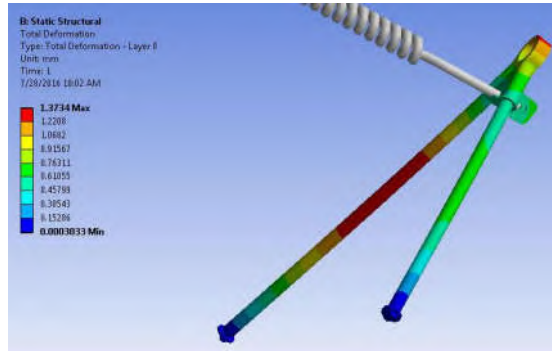
Gambar 4.4 hasil simulasi percobaan ke 2

Dari gambar di atas terlihat bahwa deformasi yang dihasilkan masih jauh lebih besar dari 1 mm, namun lebih kecil dibandingkan dengan susunan pada percobaan ke 1. Maka jumlah layer yang searah longitudinal di tambah jumlah layernya. Dan susunannya menjadi sebagai berikut.

45° 2 layer

90° 8 layer

Dari susunan layer tersebut didapatkan hasil seperti pada gambar di bawah ini.

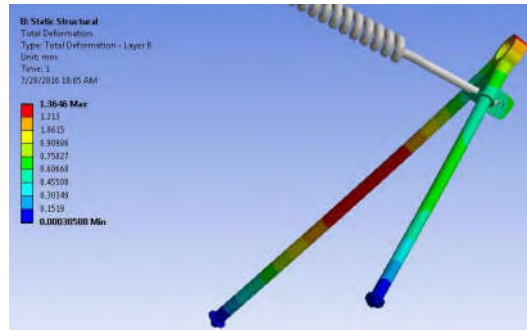


Gambar 4.5 hasil simulasi percobaan ke 2 susunan ke 2
 Dari gambar di atas diketahui bahwa deformasi yang dihasilkan sudah mendekati 1mm tapi masih lebih besar. Sehingga jumlah layer searah longitudinal diperbanyak lagi dengan susunan sebagai berikut

45° 1 layer

90° 10 layer

Dari hasil susunan di atas didapat bahwa deformasi yang dihasilkan lebih kecil dibanding susunan sebelumnya, dan sudah di bawah 1mm, berikut adalah gambar hasil simulasinya.



Gambar 4.6 hasil simulasi percobaan ke 2 dengan susunan ke 3

Dari gambar di atas bisa dilihat bahwa deformasi yang dihasilkan telah dibawah 1mm.

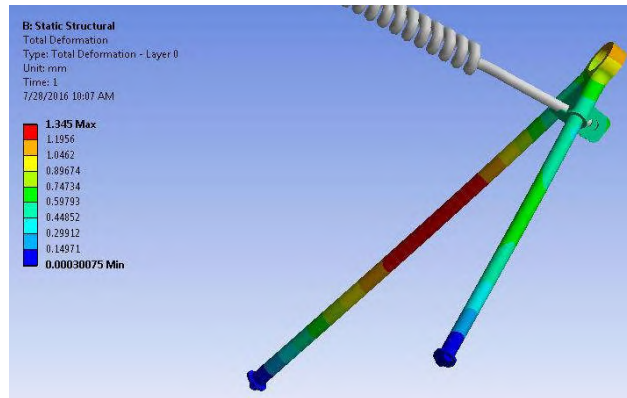
- Percobaan III

Setelah dilakukan study literature didapatkan bahwa Tim FSAE dari Amerika juga telah melakukan eksperimen mengenai *A-arm carbon fiber* dengan tipe susunan.

0° 1 layer

90° 10 layer

Dengan susunan tersebut kemudian dicoba untuk diaplikasikan pada arm sapu angina speed, dan hasil dari simulasinya adalah sebagai berikut.



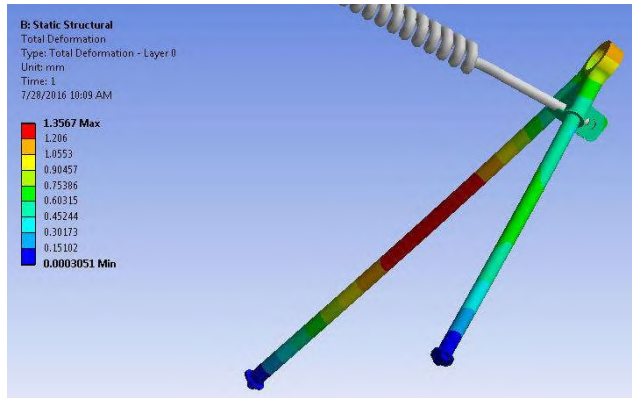
Gambar 4.7 hasil simulasi percobaan ke 3 susunan 1
 Dari gambar di atas didapatkan bahwa nilai deformasi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan pada percobaan ke 2 untuk susunan 3. Maka susunan 1 percobaan III dijadikan variasi 1.

Kemudian dilakukan simulasi lagi untuk susunan 2 yaitu dengan susunan sebagai berikut:

60° 1 layer

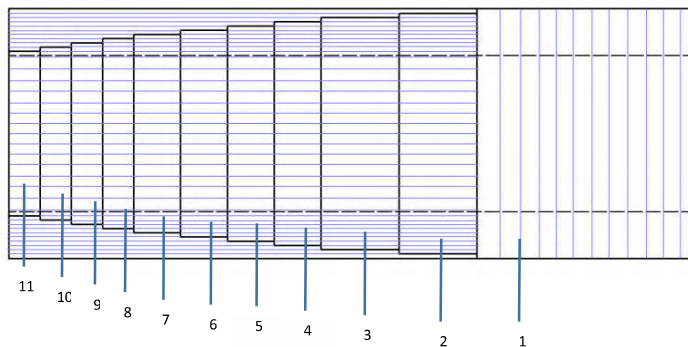
90° 10 layer

Susunan di atas kemudian dilakukan simulasi dengan bantuan perangkat lunak computer dan didapatkan hasil seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.8 hasil simulasi percobaan ke 3 susunan 2
Dari hasil di atas diketahui bahwa nilai defromasi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan percobaan ke 2 susunan ke 3.

Maka didapatkan variasi yang akan dilakukan dalam pengujian dengan dua tipe susunan layer carbon fiber sebagai berikut:



Gambar 4.9 skema penyusunan layer carbon fiber pada tube.

- Type 1
Lapisan ke 1 : 0°

- | | | | |
|------------|-------|---|------|
| | 2-11+ | : | 90° |
| - type 2 | | | |
| Lapisan ke | 1 | : | +60° |
| | 2-11+ | : | 90° |

Dari kedua tipe tersebut akan diketahui tipe mana yang memiliki kekuatan lebih baik dan menghasilkan deformasi yang paling kecil.

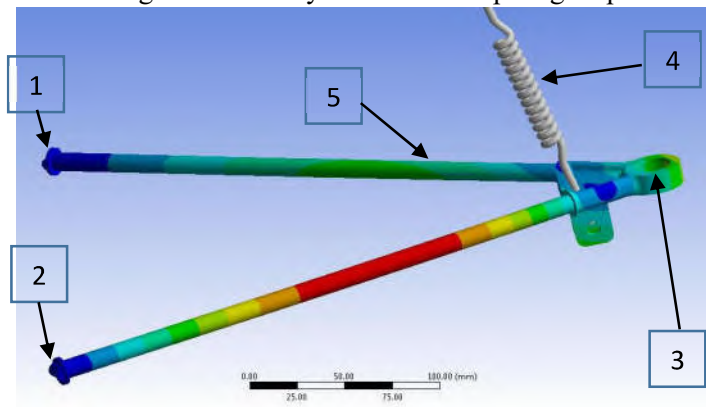
c. Kriteria keamanan

Pada proses simulasi output yang didapat kan nantinya berupa total deformasi, maks. Stress, maks. Strain, dan tsai hill kriteria. Geometri dinilai aman ketika:

1. Deformasi maksimal yang terjadi kurang dari 1 mm.
2. Tidak terjadi kegagalan pada susunan layer menurut kriteria Tsai hill.

d. Constrain Simulasi.

Sebelum dilakukan simulasi, perlu dilakukan penentuan constrain dari geometry berupa letak gaya dan letak tumpuan sesuai dengan keadaan nyata di mobil sapuangin speed 4.



Gambar 4.10 Susunan A-arm carbon tube dengan silinder support dan elastic support.

Ket:

- 1 : alumunium tempat ball joint (tumpuan silinder)
- 2 : alumunium tempat ball joint (tumpuan silinder)
- 3 : tempat spherical bearing (tumpuan silinder)
- 4 : elastic support (pengganti suspensi)
- 5 : carbon fiber tube

4.2.1. Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Skidpad

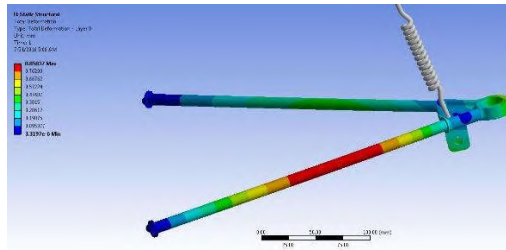
a. A-arm depan atas.

Table 4.1 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad

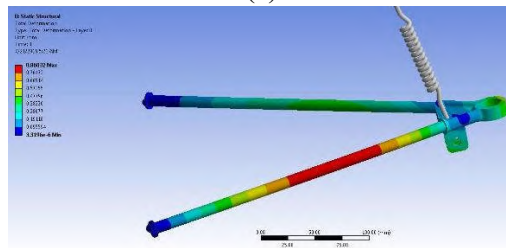
Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Deformasi(mm)		0.85837	Maks. Deformasi(mm)	0.86032

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangen speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar

disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.11a susunan tipe 1, 4.11b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan skidpad

Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0,85837 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.86032 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

b. A-arm depan bawah.

Table 4.2 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.

Layer ke	Type 1		Type 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.27686	Maks. Defromasi(mm)	0.27984

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.

Gambar 4.12a susunan tipe 1, gambar 4.12b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan
skidpad

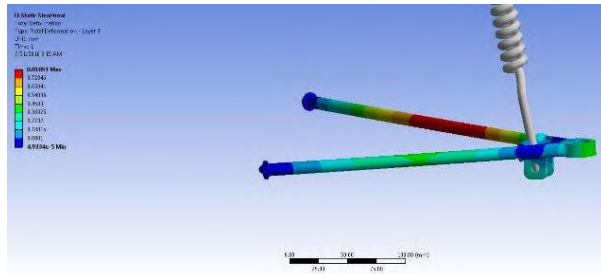
Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.27686 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi defromasi sebesar 0.27984 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

c. A-arm belakang atas.

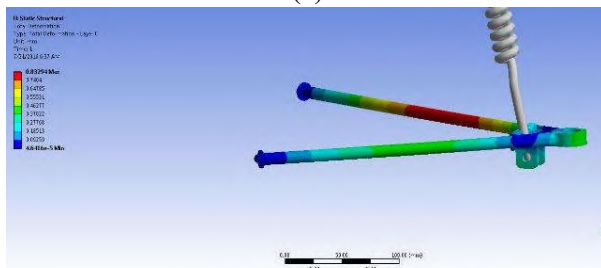
Table 4.3 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.

Layer ke	Type 1		Type 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.81051	Maks. Defromasi(mm)	0.8329

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.13a susunan tipe 1, gambar 4.13b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan
skidpad

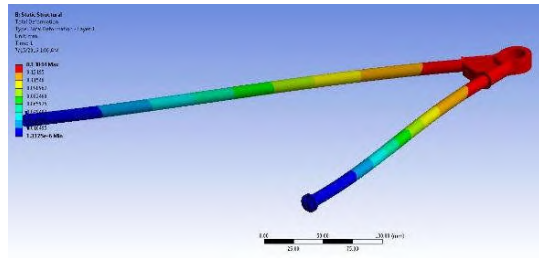
Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.81051 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.8329 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

d. A-arm belakang bawah

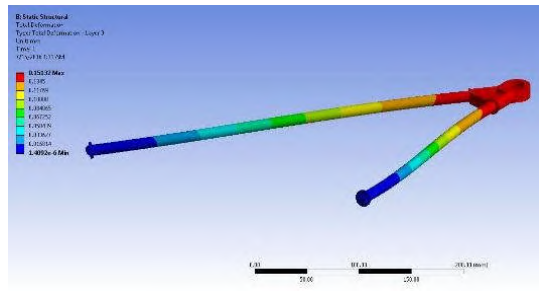
Table 4.4 hasil simulasi pada a arm belakang bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika skidpad.

Layer ke	Type 1		Type 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.14844	Maks. Defromasi(mm)	0.1513 2

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.14a susunan tipe 1, gambar 4.14b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan skidpad

Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.14844 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi defromasi sebesar 0.15132 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

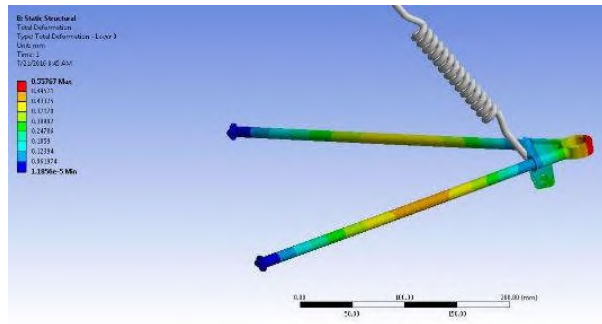
4.2.2. Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Akselerasi

a. A-arm depan atas

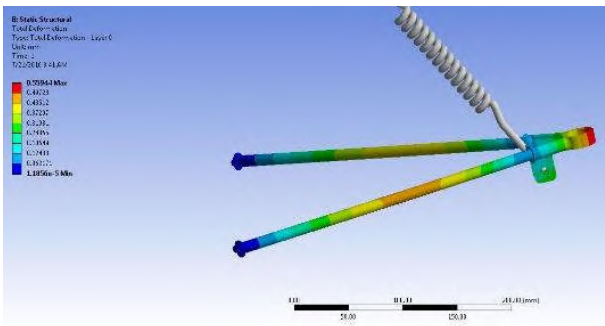
Table 4.5 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.5576	Maks. Defromasi(mm)	0.55944

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika akselerasi, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.15a susunan tipe 1, gambar 4.15b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan
skidpad

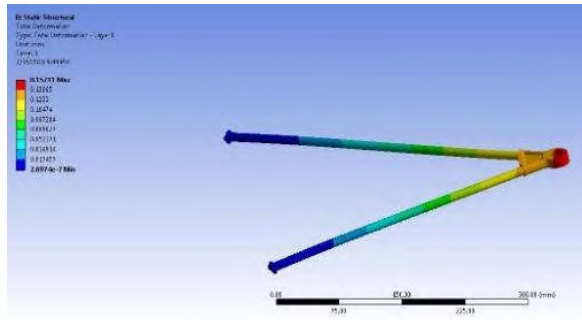
Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.5576 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.55944 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

b. A-arm depan bawah.

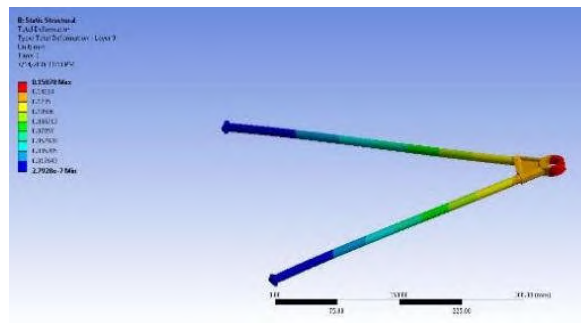
Table 4.6 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

Layer ke	Type 1		Type 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.15711	Maks. Defromasi(mm)	0.15878

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.16a susunan tipe 1, gambar 4.16b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan skidpad

Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.15711 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.15878 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

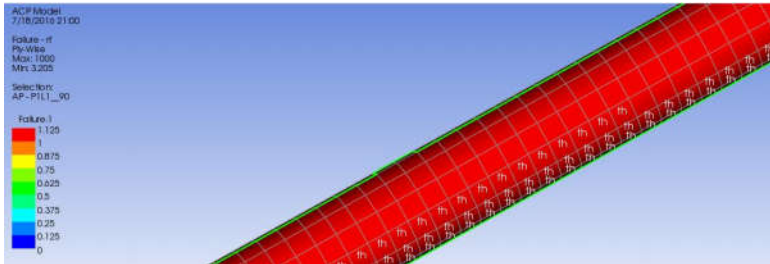
c. A-arm belakang atas

Pada simulasi ini dilakukan dua kali simulasi karena pada percobaan pertama dengan 11 layer terjadi kegagalan, seperti bisa dilihat tdi bawah ini.

Table 4.7 hasil simulasi pada a arm belakang atas dengan 11 layer, berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

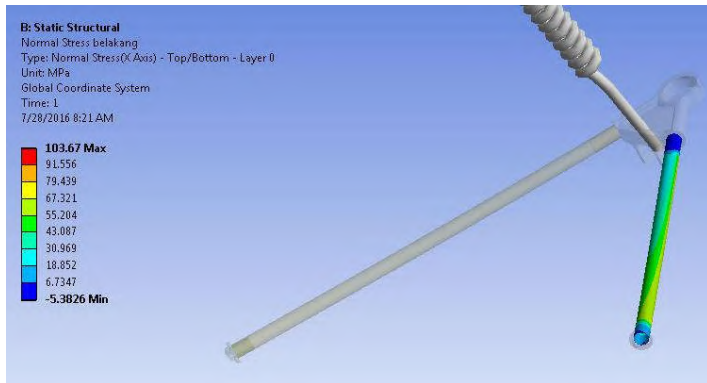
Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Gagal	60	Gagal
2	90	Gagal	90	Gagal
3	90	Gagal	90	Gagal
4	90	Gagal	90	Gagal
5	90	Gagal	90	Gagal
6	90	Gagal	90	Gagal
7	90	Gagal	90	Gagal
8	90	Gagal	90	Gagal
9	90	Gagal	90	Gagal
10	90	Gagal	90	Gagal
11	90	Gagal	90	Gagal
Maks. Deformasi(mm)		1.0198	Maks. Deformasi(mm)	1.0278

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangen speed 4 ketika berakselerasi, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber tidak cukup dengan 11 layer Karena terjadi kegagalan pada semua lapisan layernya.



Gambar 4.17 hasil simulasi ditinjau melalui ACP POST dengan kriteria kegagalan Tsai hill.

Seperti yang bisa dilihat pada table dan gambar di atas, Nampak terjadi kegagalan dengan ditandainya dengan karakter “th” pada susunan layer yang mengindikasikan terjadi kegagalan menurut kriteria *tsai hill*, sehingga dilakukan penyusunan ulang dengan ditambahkan menjadi 16 layer carbon fiber.



(a)

ACP Model
7/28/2010 08:30

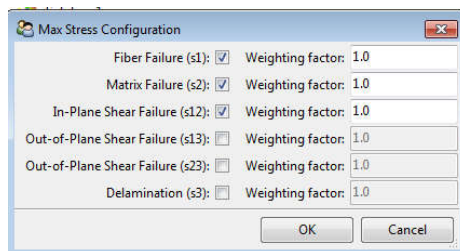
Failure - rf
Element-Wise
Max: 229.31
Min: 2.0191



(b)

Gambar 4. (a)Tegangan yang terjadi pada geometry arm belakang saat akselerasi dengan 11 layer.(b) kegagalan yang terjadi dengan kriteria kegagalan *maksimum stress*.

Dari gambar di atas diketahui bahwa besarnya tegangan yang terjadi sebesar 103,67 Mpa yang melebihi batas maksimal dari tegangan yang dimiliki oleh tipe susunan tersebut. Pada salah sehingga terjadi kegagalan. Kegagalan yang terjadi berdasarkan indicator yang ditampilkan bertuliskan “s2” hal ini mengindikasikan terjadi kegagalan “matriks” dari penyusun carbon fiber tersebut. Seperti yang dijelaskan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.18 keterangan kegagalan berdasarkan tegangan maksimum.

Setelah diketahui kegagalan yang terjadi, maka dilakukan penambahan jumlah susunan lapisan *carbon fiber* menjadi 16 lapisan dengan ketebalan total 5mm.

Table 4.8 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
12	90	Aman	90	Aman
13	90	Aman	90	Aman
14	90	Aman	90	Aman
15	90	Aman	90	Aman
16	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.985	Maks. Defromasi(mm)	0.99078

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah ditambahkan lapisan menjadi 16 layer kemudian dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangin speed 4 ketika berakselerasi, didapatkan bahwa 16 layer carbon fiber tidak terjadi kegagalan, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang

susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

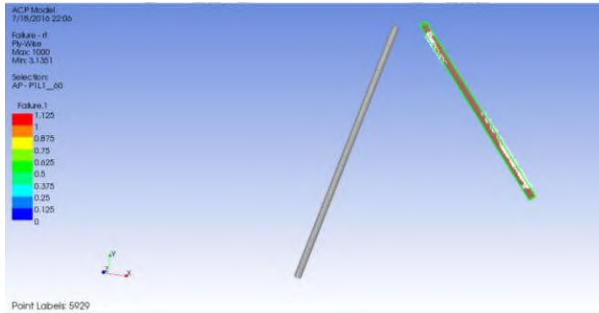
d. A-arm belakang bawah

Pada simulasi ini dilakukan dua kali simulasi karena pada percobaan pertama dengan 11 layer terjadi kegagalan, seperti bisa dilihat tdi bawah ini.

Table 4.9 hasil simulasi pada a arm belakang atas dengan 11 layer, berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

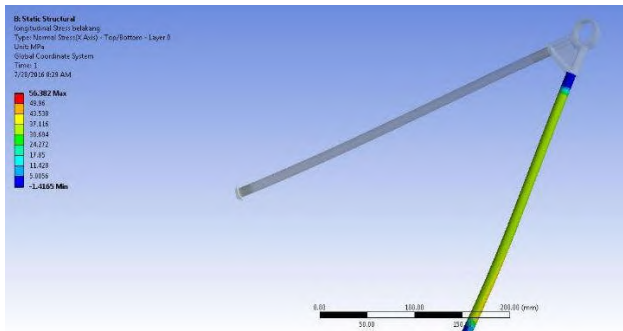
Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	Ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Gagal	60	Gagal
2	90	Gagal	90	Gagal
3	90	Gagal	90	Gagal
4	90	Aman	90	Gagal
5	90	Aman	90	Gagal
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		1.1405	Maks. Defromasi(mm)	1.1616

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangin speed 4 ketika berakselerasi, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber tidak cukup dengan 11 layer Karena terjadi kegagalan pada semua lapisan layernya.

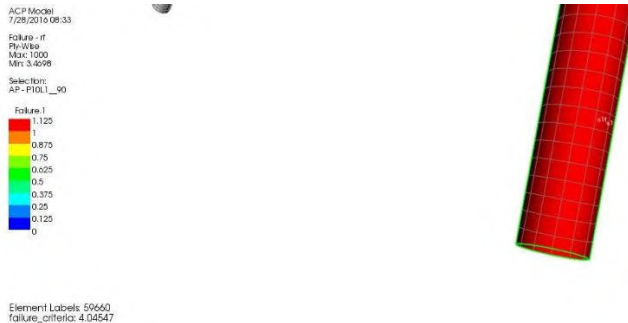


Gambar 4.20 hasil simulasi ditinjau melalui ACP POST dengan kriteria kegagalan Tsai hill.

Seperti yang bisa dilihat pada table dan gambar di atas, Nampak terjadi kegagalan dengan ditandainya dengan karakter “th” pada susunan layer yang mengindikasikan terjadi kegagalan menurut kriteria *tsai hill*, sehingga dilakukan penyusunan ulang dengan ditambahkan menjadi 16 layer carbon fiber.



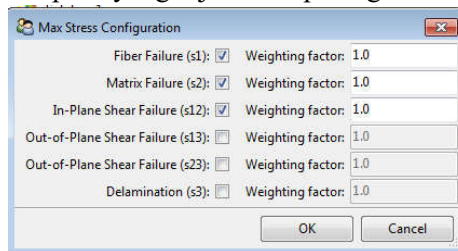
(a)



(b)

Gambar 4.21 (a) Tegangan yang dihasilkan saat simulasi (b) Kegagalan berdasarkan tegangan maksimum

Dari gambar (a) dapat diketahui bahwa tegangan longitudinal yang terjadi sebesar 97,527 Mpa, sedangkan besarnya nilai batas tegangan longitudinal dari material dengan susunan tersebut hanya 90 Mpa. sehingga terjadi kegagalan. Kegagalan yang terjadi berdasarkan indicator yang ditampilkan bertuliskan “s2” hal ini mengindikasikan terjadi kegagalan “fiber” dari penyusun carbon fiber tersebut. Seperti yang dijelaskan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.22 keterangan kegagalan berdasarkan tegangan maksimum.

Setelah diketahui kegagalan yang terjadi, maka dilakukan penambahan jumlah susunan lapisan *carbon fiber* menjadi 16 lapisan dengan ketebalan total 5mm.

Table 4.10 hasil simulasi pada a arm belakang bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika akselerasi.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
12	90	Aman	90	Aman
13	90	Aman	90	Aman
14	90	Aman	90	Aman
15	90	Aman	90	Aman
16	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.90971	Maks. Defromasi(mm)	0.9280 3

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah ditambahkan lapisan menjadi 16 layer kemudian dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangen speed 4 ketika berakselerasi, didapatkan bahwa 16 layer carbon fiber tidak terjadi kegagalan, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.

4.2.3 Hasil Simulasi Berdasarkan Dinamika Kendaraan Ketika Pengereman

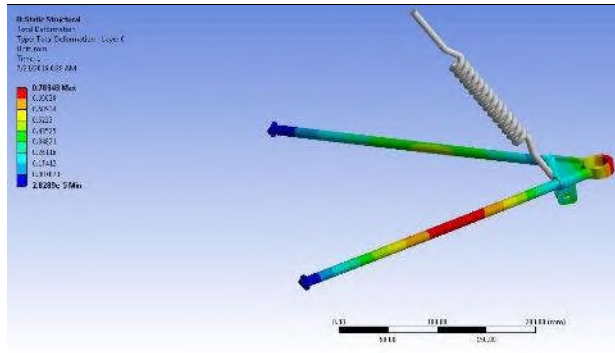
a. A-arm depan atas

Seperti yang bisa dilihat pada table dan gambar di atas, nampak terjadi kegagalan dengan ditandainya dengan karakter “th” pada susunan layer yang mengindikasikan terjadi kegagalan menurut kriteria *tsai hill*, sehingga dilakukan penyusunan ulang dengan ditambah menjadi 16 layer carbon fiber.

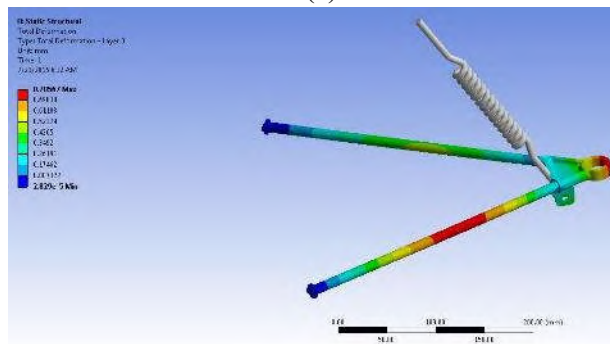
Table 4.11 hasil simulasi pada a arm depan atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.78343	Maks. Defromasi(mm)	0.78567

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas didapatkan bahwa pada susunan tipe 2 sejumlah 11 layer carbon fiber tidak terjadi kegagalan, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan, sedangkan untuk susunan tipe 1 dengan susunan carbon finer terluar dengan sudut 0° bisa bertahan dengan jumlah layer 11.



(a)



(b)

Gambar 4.24a susunan tipe 1, gambar 4.24b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan
skidpad

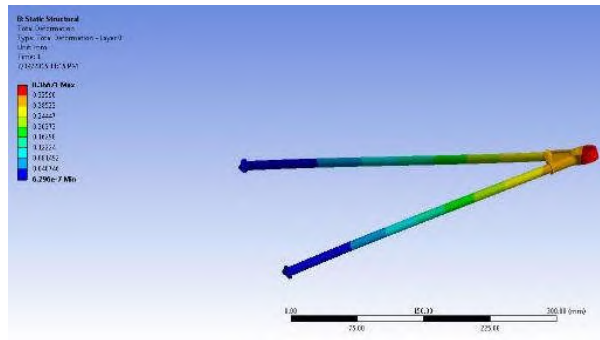
Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.78343 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.78567 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

b. A-arm depan bawah

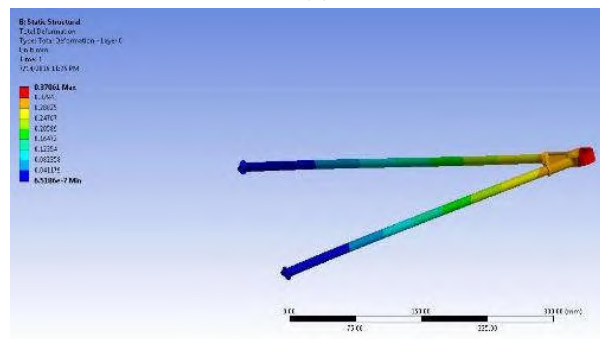
Table 4.12 hasil simulasi pada a arm depan bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	Ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.36671	Maks. Defromasi(mm)	0.37061

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangen speed 4 ketika pengereman, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.25a susunan tipe 1, gambar 4.25b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan
skidpad

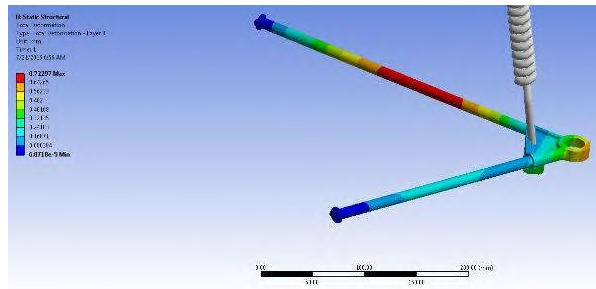
Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.36671 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.37061 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

c. A-arm belakang atas

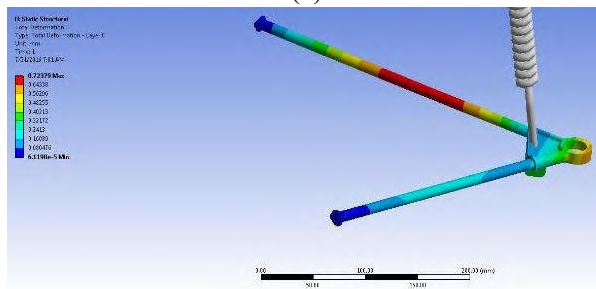
Table 4.13 hasil simulasi pada a arm belakang atas berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.

Layer ke	Type 1		Tipe 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Defromasi(mm)		0.7229 7	Maks. Defromasi(mm)	0.72379

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangen speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.26a susunan tipe 1, gambar 4.26b susunan tipe 2
Deformasi yang terjadi ketika mobil berbelok pada lintasan skidpad

Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui dari dua variasi tersebut bahwa pada susunan layer paling luar, dengan sudut 0° terjadi deformasi sebesar 0.26701 mm, sedangkan ketika menggunakan susunan layer terluar dengan sudut 60° , terjadi deformasi sebesar 0.26916 mm. sehingga diketahui bahwa susunan layer terluar dengan sudut 0° pada arm depan atas saat simulasi belok mendapatkan hasil yang lebih baik.

d. A-arm belakang bawah

Table 4.14 hasil simulasi pada a arm belakang bawah berdasarkan dinamika kendaraan ketika pengereman.

Layer ke	Type 1		Type 2	
	Sudut (deg)	ket	Sudut (deg)	ket
1	0	Aman	60	Aman
2	90	Aman	90	Aman
3	90	Aman	90	Aman
4	90	Aman	90	Aman
5	90	Aman	90	Aman
6	90	Aman	90	Aman
7	90	Aman	90	Aman
8	90	Aman	90	Aman
9	90	Aman	90	Aman
10	90	Aman	90	Aman
11	90	Aman	90	Aman
Maks. Deformasi(mm)		0.31667	Maks. Defromasi(mm)	0.31871

Dari table di atas dapat dilihat bahwa arm depan atas yang berbahan carbon setelah dilakukan pengujian secara simulasi berdasarkan dinamika kendaraan sapuangan speed 4 ketika berbelok, didapatkan bahwa pada penyusunan carbon fiber cukup dengan 11 layer carbon fiber, dengan penyusunan sudut 90° sebanyak +90% dari layer yang digunakan, dan pada layer terluar disusun dengan susunan yang bervariasi, yaitu dengan sudut susunan 0° dan 60° sebagai pencegah adanya delaminasi dari susunan carbon fiber yang digunakan.

4.3. Massa Dari A-Arm Carbon Fiber

Dari perancangan yang telah dilakukan, didapatkan geometry dari arm sapuwingin speed yang sesuai dengan kebutuhan, dan juga telah bisa mereduksi berat dari massa a-arm itu sendiri.

Table 4.15 Perbandingan Massa Arm Carbon Fiber Dan Steel

komponen	Massa satuan(gr)	jumlah	Massa (gr)	
			Carbon + alumunium	Steel
a arm kanan atas depan			202.75	577
- ulir	2	2		
- cnc tempat spherical	66	1		
- carbon fiber tube	132.75	-		
a arm kanan bawah depan			200.85	560
- ulir	2	2		
- cnc tempat spherical	41	1		
- carbon fiber tube	132	-		
a arm kanan atas belakang			291.82	477
- ulir	2	2		
- cnc tempat spherical	69	1		
- carbon fiber tube	155.85	-		
a arm kanan bawah belakang			332,89	547
- ulir	2	2		

- cnc tempat spherical	43	1		
- carbon fiber tube	285	-		
Total			1028.31	2161
%reduksi			0.524151462	

Dari table data massa di atas dapat dilihat bahwa desain arm yang telah dirancang menggunakan carbon fiber bisa mereduksi massa hingga 52,41% dari massa semula.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

Bab V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari desain pada A-arm carbon fiber tube yang memiliki berat 60% dari berat berbahan steel, telah dilakukan simulasi berdasarkan maneuver mobil ketika berlomba pada *Student Formula Japan* yang telah disimulasikan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan perhitungan dari fenomena maneuver mobil, didapatkan bahwa gaya-gaya pengujian pada simulasi adalah, besarnya gaya normal roda bagian depan ketika skidpad, akselerasi dan pengereman berturut-turut sebesar 782,812 N, 228,229N, dan 755,25 N. Lalu besarnya gaya normal untuk roda belakang ketika skidpad, akselerasi dan pengereman adalah sebesar 901,402 N, 827,536 N, dan 250,16 N. Lalu besarnya gaya centrifugal yang timbul ketika mobil melakukan maneuver belok sebesar 2.8346 N. Besarnya gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin saat akselerasi sebesar 1.384,6 N lalu besarnya rolling resistance yang timbul saat berakselerasi sebesar 5,519 N, dan besarnya gaya hambat angin sebesar 347,88 N. Selain itu saat pengereman dibutuhkan gaya pengereman untuk menghentikan mobil sampai diam sebesar 1.594,65 N.
2. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa:
 - a. Simulasi A-arm carbon fiber sapuanjin speed berdasarkan dinamika kendaraan ketika bermaneuver, didapat bahwa Arm depan atas pada saat dilakukan pengujian berdasarkan maneuver skidpad arm tipe 1 dinyatakan aman dengan menggunakan 11 layer carbon fiber, begitu juga untuk tipe 2. Kemudian saat dilakukan pengujian berdasarkan maneuver akselerasi didapatkan bahwa arm yang telah disusun dengan 11 layer carbon

- b. fiber untuk tipe 1 dan tipe 2 aman. Lalu untuk simulasi saat pengereman susunan carbon fiber tipe 1 dan tipe 2 juga dinyatakan aman dengan 11 layer
- c. Arm depan bawah ketika dilakukan simulasi saat skidpad untuk tipe 1 dan tipe 2 dinyatakan aman dengan 11 layer. Lalu ketika simulasi akselerasi untuk tipe 1 dan tipe 2 juga dinyatakan aman dengan 11 layer, dan untuk pengujian pengereman arm depan bawah dinyatakan aman dengan 11 layer untuk susunan tipe 1 dan susunan tipe 2.
- d. Arm belakang atas ketika dilakukan simulasi skidpad untuk tipe 1 dan tipe 2 dengan susunan carbon fiber sejumlah 11 layer dinyatakan aman, kemudian saat simulasi akselerasi ternyata untuk tipe 1 dan tipe dua dinyatakan gagal dengan susunan 11 layer, kemudian dilakukan redesign dengan menambahkan jumlah layer menjadi 16 layer, dan setelah dilakukan simulasi ulang, untuk tipe 1 dan tipe 2 telah dinyatakan aman. Lalu untuk simulasi pengereman dengan susunan carbon fiber sejumlah 11 layer, untuk tipe 1 dan tipe 2 hasilnya menunjukkan aman untuk digunakan.
- e. Arm belakang bawah ketika dilakukan simulasi skidpad dinyatakan aman dengan susunan 11 layer carbon fiber untuk tipe 1 dan tipe 2, lalu ketika dilakukan simulasi pada saat akselerasi diketahui bahwa untuk tipe 1 dan tipe dengan susunan 11 layer menunjukkan hasil gagal struktur, sehingga dilakukan redesign dengan merubah jumlah layer carbon fiber menjadi 16 layer untuk tipe 1 dan tipe 2, dan setelah dilakukan simulasi akselerasi ulang, maka susunan tipe 1 dan tipe 2 dinyatakan aman dengan 11 layer. Kemudian simulasi dilanjutkan ketika mobil melakukan pengereman diketahui bahwa pada

tipe 1 dan tipe 2 dengan susuna carbin fiber sejumlah 11 layer, dinyatakan aman pada simulasi akselerasi.

5.2. Saran

Hasil penelitian ini diharapkan nantinya bisa dijadikan acuan dalam proses perancangan dan *improvement* Sapuangen speed, sehingga nantinya akan bisa mereduksi berat dari mobil sapuangen speed dan meningkatkan capaian dari sapuangen speed. Penelitian yang dilakukan baru sebatas simulasi, untuk penelitian selanjutnya pengujian secara eksperimen tetap perlu dilakukan, sehingga akan diketahui hasil secara riil. Selain itu untuk kedepannya simulasi bisa dilakukan lagi untuk material carbon fiber yang memiliki nilai *Strength to density ratio* yang lebih tinggi dari material yang telah disimulasikan.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- Eliahu Zahawi, 1996. **FATIGUE DESIGN : Life Expectancy of Machine part.** CRC press.
- Gay, Daniel, 1942. **Composite Material.** CRC press.
- I Nyoman Sutantra, 2001. **TEKNOLOGI OTOMOTIF : Teori dan Aplikasi,** Surabaya : Guna Widya.
- Robert C. Juvinnal, 1967. **Engineering Consideration of STRESS, STRAIN, AND STRENGTH.** MCGRAW. HILL BOOK COMPANY.
- Mark Koenigs, Joe Spadea, Meg Warpinski, Dylen Freytag, Tammer Bostros, dan Karl Fran. **Structural Fatigue Detail**

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BIODATA PENULIS



Haidir Ali Murtadlo lahir di Jombang pada tanggal 01 April 1994. Riwayat pendidikan formal yang ditempuh yaitu RA Najatud Daroini (1999-2000), lalu MI Najatud Daroini (2000-2006), kemudian SMP N 3 Peterongan P.P. Darul Ulum (2006-2009), lalu SMA Negeri Mojoagung (2009-2012). Dan untuk pendidikan non-formal di Madrasah Diniyah PP. Darul Ulum (2006-2009). Setelah menyelesaikan pendidikan tingkat lanjut, kemudian melanjutkan *study* nya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan S1 Teknik Mesin angkatan 2012 atau bisa disebut M55.

Selama kuliah telah mengikuti beberapa kegiatan organisasi dan kepanitiaan di antaranya, staff departemen Pengempangan keprofesian dan keilmiahan di HMM periode 2013-2014, lalu sebagai Kepala Departemen Pengembangan keprofesian dan keilmiahan HMM periode 2014-2015. Kemudian pada tahun 2015-2016 sebagai anggota ITS Team Sapuangan. Untuk kegiatan kepanitiaan sebagai anggota sie Dekorasi Mechanical City 2013. Sebagai Koordinator wilayah Kediri pada Mechanical City 2014. Sebagai Koordinator sie akomodasi wisuda 106. Sebagai anggota sie keamanan dan perijinan wisuda 107. Sebagai anggota sie perlengkapan Indonesia energy Marathon Challenge 2014.

Kritik dan saran sangat diharapkan sebagai batu loncatan dalam melakukan peningkatan kualitas penulisan selanjutnya. Hal itu bisa disampaikan ke haidiralimurtadlo4@gmail.com.